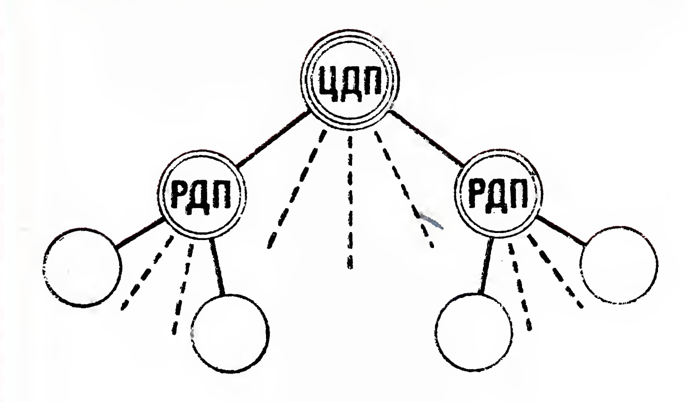
Библиотека по автоматике

В. А. Ильин

Большие системы телемеханики



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»

БИБЛИОТЕКА ПО АВТОМАТИКЕ

Выпуск 227

В. А. ИЛЬИН

БОЛЬШИЕ СИСТЕМЫ ТЕЛЕМЕХАНИКИ



«ЭНЕРГИЯ»

МОСКВА 1967

6П2. 154 УДК 621.398

Ильин В. А.

И 45 Большие системы телемеханики. М., «Энергия», 1967.

136 с. с илл. (Б-ка по автоматике. Вып. 227). 12 000 экз. 39 к.

Рассматривается развитие устройств телемеханики для все более крупных промышленных комплексов с единой системой управления. Анализируются особенности и даются примеры систем телемеханики большой емкости с иерархическим управлением для газовой, нефтяной промышленности, железнодорожного транспорта и универсальных. Приводятся результаты исследований по оптимизации структур и кодирования. Рассматриваются методы и технические средства при переходе к таким системам и пути дальнейшего развития систем телемеханики.

Книга рассчитана на широкий круг лиц, интересующихся телемеханикой и технической кибернетикой, в особенности на инженерно-технических работников в области автоматизации и телемеханизации производства и создания технических средств автоматизации.

3-3-13
214-67 **6П2.154**

Ильин Виктор Александрович

Большие системы телемеханики,

Редактор *А. Н. Юрасов* Техн. редактор *Л. И. Гаврилина*
Художественный редактор *Д. И. Чернышев*
Корректор *И. А. Володяева*

Сдано в набор 3/XII-66 г. Подписано к печати 16/III-67 г. Т-01826
Формат 84×108¹/₃₂ Бумага типографская мелованная
Усл. печ. л. 7,14 Уч.-изд. л. 7,42
Тираж 12 000 экз. Цена 39 коп. Заказ 2755
Издательство „Энергия", Москва, Ж-114, Шлюзовая наб., 10.

Московская типография № 10 Главполиграфпрома Комитета по печати при Совете Министров СССР. Шлюзовая наб., 10.

ВВЕДЕНИЕ

Для современного развития автоматизации и телемеханизации характерно увеличение комплекса машин и агрегатов, охватываемых единой системой автоматического или частично автоматизированного управления. Переход от автоматизации отдельного агрегата или машины к группе машин и более крупным комплексам, таким например, как нефтескважина, участок нефтедобычи, нефтепромысел и объединение нефтепромыслов, сопровождается увеличением протяженности соединительных сетей, по которым передаются команды управления и сообщения о состоянии объектов.

При увеличении количества управляемых объектов и повышении сложности систем, в определенных условиях, целесообразно иметь несколько пунктов сбора, обработки и передачи информации с соответствующей подчиненностью пунктов. Такая система с центральным диспетчерским пунктом и несколькими подчиненными ему «районными» пунктами управления, т. е. с несколькими ступенями управления, обычно обладает более высокими надежностью и эффективностью управления. Все объекты управления в этом случае разбиваются на группы по технологическим и другим признакам. Каждая группа имеет свой «районный» пункт управления, собирающий информацию телеизмерения, телесигнализации и вырабатывающий оперативные команды управления подчиненным ему местным объектам. Наиболее важная информация передается транзитом в вышестоящий пункт управления или в центральный пункт. В вышестоящие пункты также передается информация о сводных параметрах — суммарной мощности, расходе, производительности — и о работе подчиненных пунктов управления. В свою очередь, с вышестоящего пункта поступают команды подчиненным пунктам об оптимальных режимах работы и

об особенностях управления в течение некоторого ближайшего периода.

Центральный диспетчерский пункт оценивает работу системы в целом, разрабатывает долгосрочные прогнозы, планирует работу подчиненных пунктов управления и вырабатывает важнейшие команды управления по координации работы пунктов и объектов управления. На центральный диспетчерский пункт в основном поступает информация в виде сводных параметров, за исключением жизненно важной и ответственной информации. В обратном направлении, с центрального диспетчерского пункта, в основном передается информация, имеющая характер задания режима работы подчиненным пунктам управления.

В настоящее время эксплуатируется и создается в энергообъединениях, в газовой промышленности и других отраслях ряд крупных систем с несколькими или многими пунктами управления, оборудованными средствами телемеханики и телеавтоматики. Особенностью больших и сложных производственных комплексов является иерархия управления с выделением функций оперативного управления местным («районным») пунктам управления. Следовательно, возрастает автономность отдельных частей системы.

За последние десятилетия максимальная емкость системы телемеханики возросла от 8—12 до 5 000 сигналов ТУ, ТС и продолжает быстро увеличиваться. К крупным по емкости системам телемеханики относится, например, комплексная система ЭСТ-62 (электронная система телемеханики на полупроводниковых приборах разработки 1962 г.), широко применяемая для телеуправления объектами электроснабжения на железных дорогах в СССР. Ее максимальная суммарная емкость для 15 контролируемых пунктов (КП) составляет 5 640 сигналов ТУ, ТС в однопозиционном исчислении ($15\times240=$ $=3\,600$ сигналов ТС и $15\times136=2\,040$ сигналов ТУ).

Другая сравнительно крупная система телемеханики, установленная на трубопроводе «Дружба», рассчитана на передачу 999 сигналов ТУ, ТС, ТИ (трехразрядного десятичного кода). Она содержит 23 тысячи транзисторов и больше 100 тысяч иных компонентов (сопротивлений, конденсаторов и т. п.).

На одном из крупных газопроводов Бухара — Урал протяженностью больше 2 500 *км*, с 21 компрессорной

станцией, имеющими суммарную мощность каждой станции, равную нескольким десяткам тысяч киловатт, будет иерархическое управление (центральная и районные службы). При этом требуется большая суммарная информационная емкость комплексной двухступенчатой системы телемеханики ТУ, ТС, ТИ, чем емкость системы на трубопроводе «Дружба».

Необходимость в разработке систем телемеханики большой емкости непрерывно возрастает. Так, строятся еще более крупный газопровод Средняя Азия — Центр, Транссибирские нефтепроводы и др. Системы телемеханики с иерархическим управлением необходимы также для энергетики, метеорологии, железных дорог, ирригации, авиационного транспорта, связи и других отраслей народного хозяйства.

Для крупных систем с иерархическим управлением, создаваемых в ряде отраслей народного хозяйства, возникает ряд весьма интересных проблем по надежности, кодированию, помехоустойчивости, структуре, рациональным принципам построения и т. д. Такие комплексные иерархические системы телемеханики будут содержать сотни тысяч компонентов, т. е. примерно такое же количество, как современные ЦВМ. Аппаратура контролируемых пунктов при этом работает в более тяжелых условиях (в неотапливаемых помещениях и без дежурного персонала), а следовательно требования к надежности здесь должны быть значительно более высокими.

К различной информации предъявляются разные требования по надежности. В самом деле, нет необходимости иметь одинаково высокую надежность при визуальной индикации (за исключением аварийных сигналов) и для сигналов, воздействующих на регулируемый процесс, вводимых в ЦВМ или подаваемых на регистраторы. За исключением первого случая надежность передачи должна быть во много раз большей.

Увеличение максимальной емкости систем телемеханики определяется продолжающимся расширением комплекса машин и агрегатов, которые охватывает единая система управления. С увеличением количества еще более резко возрастает и максимально возможное число связей, которые могут быть установлены в единой системе между КП. Максимальное количество связей S между простейшими КП будет:

$$S = A_n^2 = n(n-1).$$

Так, для $n=1000$ дальнейшее увеличение на единицу числа пунктов даст максимальный прирост количества возможных связей $\Delta S=2000$, т. е. максимальное число возможных связей S (со всеми пунктами) возрастает на много быстрее, чем число КП. Значительно быстрее, чем число КП, возрастает и объем информации управления (ТУ, ТС, ТИ), который необходимо передавать в крупной системе.

В сравнительно простых устройствах управления, таких как автоматические регуляторы, максимальное количество простейших узлов достигнет нескольких десятков. При этом осуществление всех необходимых связей между узлами не вызывает затруднений.

В рассматриваемых сложных системах управления количество простейших узлов контроля и управления может достигать десятков тысяч, а в отдельных случаях и больше. Для таких систем с пространственно рассредоточенными КП практически невозможно иметь все необходимые для реализации идеального алгоритма управления связи между узлами.

В связи с этим разрабатываются принципы построения и теория сложных систем управления с локализацией связей между отдельными группами узлов и ограниченным числом всех связей. Также возникнет необходимость ограничения количества передаваемой в системе информации — т. е. задача управления системой при недостаточной информации. Эти направления характерны для сложных управляемых комплексов.

В связи укрупнением комплексов из-за все возрастающих абсолютных экономических потерь, при одинаковом относительном отклонении от оптимального режима, требуется лучшая оптимизация режима, для чего необходима передача большого объема и качественно новых видов информации. Так, для оптимизации режима комплекса по различным критериям, для взаимных расчетов и для других вычислений требуется передавать не только оперативную, но и производственно-статистическую информацию учета продукции, расхода сырья, энергии, учета потерь и т. д.

Кроме того, комплексная автоматизация производственных процессов и применение цифровых вычислительных машин приводит к увеличению потоков информации, необходимых для управления производством. Это требует в свою очередь автоматизации процессов сбо-

ра, распределения и представления информации в виде, удобном для восприятия и для ввода в управляющие машины.

С укрупнением систем возрастает путь передаваемых сигналов, которые могут ретранслироваться на нескольких промежуточных пунктах управления, а это требует повышения надежности передачи.

В то же время с укрупнением системы управления, в частности с увеличением числа КП, уменьшается надежность всей системы, если не принять одновременно специальных мер повышения надежности, таких как увеличение надежности элементов, резервирование, применение управляемых и самонастраивающихся связей.

Одним из основных путей повышения надежности крупной системы должен быть переход к иерархии управления. При иерархическом управлении, однако, необходимы новые устройства, например, для согласования работы аппаратуры телемеханики, работающей на различных ступенях управления (между пунктом управления данной ступени и контролируемыми пунктами вышестоящей). Следовательно, с укрупнением системы возникают новые трудности и новые проблемы передачи информации управления.

Новые функции телемеханических систем привели к новым требованиям: увеличился объем передаваемой информации, повысились требования к быстродействию, надежности, помехоустойчивости, точности, возникла необходимость выделения информации как на передающей, так и на приемной сторонах, возникла необходимость согласования работы телемеханических устройств с работой цифровых вычислительных машин.

Понятие большая или крупная система управления не имеет четкого определения, однако существуют характерные черты больших систем. Известно, что все системы управления в технике, биологии и в обществе обладают следующими основными свойствами: 1) схемными; 2) пространственными; 3) информационными; 4) функциональными.

Схемные свойства определяются структурой системы, в то время как пространственные — рассредоточенностью в пространстве. Информационные свойства определяются закономерностями сбора, передачи и переработки информации, а функциональные — алгоритмами управления. В большой системе управления все перечислен-

ные свойства системы обычно имеют сложные закономерности и хорошо развиты. Большие системы управления имеют сложные структуры, значительное число пространственно-рассредоточенных объектов, большие потоки передаваемой и перерабатываемой информации и сложные алгоритмы управления.

Гармоничное развитие перечисленных основных свойств, по-видимому, характерно для рационально построенных больших систем управления. Однако к большим системам в ряде случаев можно отнести также системы, у которых некоторые свойства недоразвиты за счет развития других основных свойств.

Несмотря на отсутствие четко очередных границ перехода к большим системам, необходимо отметить следующие характерные черты крупных управляемых комплексов, включающих в себя системы телемеханики:

1. Многоступенчатое управление.

2. Большой объем передаваемой и перерабатываемой информации управления, в том числе производственно-статистическая информация, необходимая для оптимизации комплекса. Еще больше увеличивается объем передаваемой информации с применением цифровой вычислительной машины.

3. Сложные структуры и структурные связи при значительном количестве КП. Повышаются требования к надежности и часто возникает необходимость применения специальных методов увеличения надежности (резервирование, применение высоконадежных элементов и т. п.).

4. Контролируемые пункты, входящие в систему управления, во многих случаях сами имеют сравнительно сложную структуру и устройства управления.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

РАЗВИТИЕ СИСТЕМ ТЕЛЕМЕХАНИКИ

1. РАЗВИТИЕ ТЕЛЕМЕХАНИЗАЦИИ

Потребность в широком применении методов и средств передачи команд телеуправления и информации телеизмерения, телесигнализации впервые возникла в энергосистемах. За последнее время эти технические средства, называемые средствами телемеханики, применяются в Советском Союзе массово на железнодорожном транспорте и в нефтедобыче. Кроме того, телемеханика широко используется в метеорологии и в специальных областях.

В энергосистемах, в нефтедобыче и на железнодорожном транспорте средствами телемеханики оборудовано в Советском Союзе примерно 120—150 диспетчерских пунктов в каждой отрасли. Создание диспетчерских пунктов во многих случаях стало целесообразным только с применением средств телемеханики (нефтедобыча). На железнодорожном транспорте суммарное количество сигналов телеуправления (ТУ), телесигнализации (ТС) и телеизмерения (ТИ) составляет примерно 250 тыс., в нефтедобыче 150—200 тыс., а в энергосистемах примерно 100 тыс. Следовательно, энергосистемы занимают сейчас только третье место по суммарному количеству сигналов ТУ, ТС, ТИ. При этом в энергосистемах находится в эксплуатации больше 1 600 устройств ТУ — ТС и несколько тысяч устройств ТИ.

На железнодорожном транспорте с 1960 г. ежегодно телемеханизируются объекты электроснабжения примерно на 1,5—2,5 тыс. *км* дорог. К концу 1965 г. было телемеханизировано 10 тыс. *км* электрифицированных дорог с наиболее напряженным движением. Телемеханизация

позволила перейти к ремонту сетей электроснабжения, не нарушая графика движения поездов, резко увеличила межремонтный период, уменьшила аварийные простои поездов и позволила высвободить большое количество персонала.

В нефтедобыче с 1959 г. ежегодно телемеханизируется 2,5—3 тыс. нефтескважин и сейчас уже значительно больше половины нефти добывается из телемеханизированных скважин. Это дало возможность укрупнить и упростить организационную структуру нефтепромысла, сократить вечерние и ночные смены операторов нефтескважин и другого обслуживающего персонала, занятого неэффективно, переложив их функции на диспетчера и аварийную бригаду. В результате резко увеличился межремонтный период, повысился технический уровень эксплуатации промыслов и увеличилась производительность труда.

Все это дает большой экономический эффект, а капиталовложения на телемеханизацию окупаются за 1,5—4 года. Развитие телемеханизации на железнодорожном транспорте в нефтедобыче и энергетике характеризует диаграмма на рис. 1.

В ближайшие 5—6 лет примерно такими же крупными потребителями средств телемеханики будут авиационный транспорт и связь. Устройства телемеханики для них начинают выпускаться на заводах отрасли телемеханики.

Средства телемеханики в последние годы начинают все более широко применяться в горнодобывающей промышленности, на крупных промышленных комбинатах, на трубопроводах, в ирригации и других отраслях народного хозяйства. Количество людей, работающих в горнодобывающей промышленности под землей, сокращается, а шахты обозримого будущего можно представить действующими, по существу, без людей. Средства автоматики и телемеханики позволят осуществить автоматизацию технологических процессов добычи угля, руды и транспортировки их на поверхность. В этом направлении уже сделаны определенные шаги.

Объем внедренных технических средств телемеханики, начиная с первых опытов телемеханизации в 30-х годах возрастает в Советском Союзе больше чем в 10 раз за каждое десятилетие, а темпы развития и в настоящее время не уменьшаются. Так, в 30-х годах было телеме-

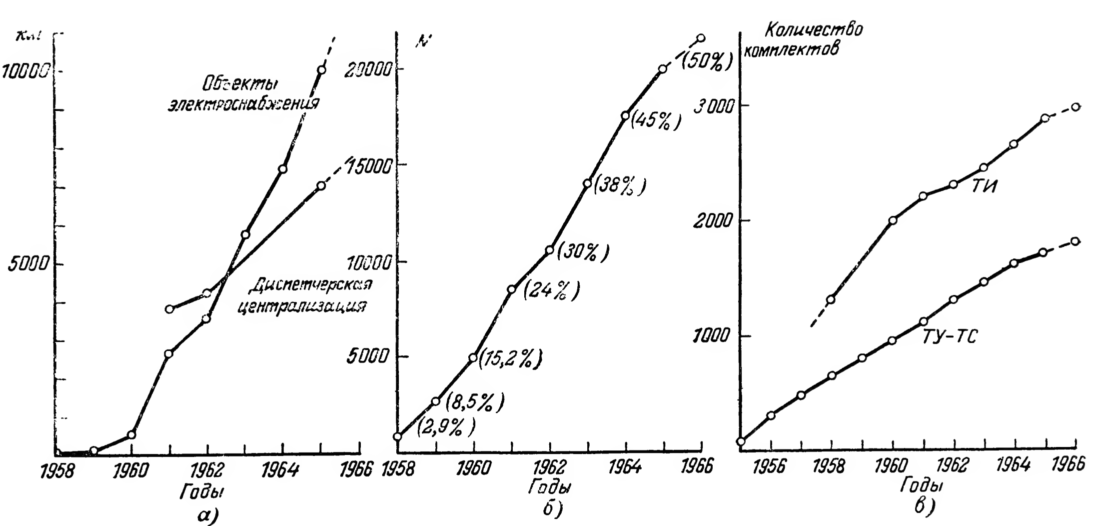


Рис. 1. Развитие протяженности телемеханизированных железных дорог (*а*), количества телемеханизированных нефтескважин (*б*) и количество комплектов устройств ТУ—ТС и ТИ в энергосистемах (*в*); в скобках показано отношение числа телемеханизированных нефтескважин к действующему фонду, в %.

ханизировано примерно 10 КП, в 40-х годах — сотни, в 50-х — тысячи, а сейчас — многие десятки тысяч.

Высокие темпы развития телемеханизации, опережающие многие другие отрасли народного хозяйства, закономерны, так как области применения телемеханики продолжают расширяться и в каждой области повышается технический уровень централизованного управления. Кроме того, как уже отмечалось, с увеличением количества КП, даже в однотипной системе управления, потоки информации, необходимой для управления (ТУ, ТС, ТИ), возрастают быстрее чем количество КП. Все это требует опережающих темпов развития телемеханики.

К новым чертам управляемых процессов при внедрении телемеханизации относятся:

а) повышение эффективности и надежности управления за счет введения централизованного управления, это устраняет недостатки разобщенности территориально рассредоточенных объектов;

б) значительный экономический эффект, вызванный упрощением технологии, сокращением капиталовложений на строительство, увеличением межремонтного периода, сокращением потерь от аварий и сокращением затрат по труду;

в) создание условий для ликвидации малоэффективных, часто вредных для здоровья профессий и значительное повышение производительности труда.

Приведем краткий перечень таких малоэффективных и часто вредных для здоровья профессий, которые уходят в прошлое с внедрением телемеханизации:

1) операторы нефтескважин, которые до внедрения телемеханизации круглосуточно (в три смены) обходили скважины и использовались неэффективно;

2) обходчики на газопроводах и нефтепроводах;

3) стрелочники на железных дорогах;

4) дежурный персонал на многих электрических подстанциях;

5) дежурный персонал на насосных и компрессорных станциях в нефтяной, газовой промышленности и в ирригации;

6) крановщики строительных кранов. С внедрением телеуправления и программных устройств необходимость в крановщике отпадает, при этом производительность крана повышается на 10—20%;

7) регулировщики воды на магистральных и других каналах в оросительных системах;

8) дежурный персонал на многих радиорелейных станциях и других предприятиях связи;

9) дежурный персонал на вредных предприятиях химической, атомной и металлургической промышленности;

10) диспетчеры и значительная часть кассиров по продаже билетов на самолеты.

Отметим, что по объему телемеханизации на железных дорогах и в нефтедобыче СССР занимает первое место в мире.

Если еще совсем недавно строились только простые, независимые устройства телеизмерения и телеуправления — телесигнализации для работы между двумя пунктами, то сейчас устройства и системы телемеханики усложнились во много раз. Они стали комплексными (ТУ, ТС, ТИ), работающими по общей линии связи с многими рассредоточенными пунктами, имеют средства, выполняющие функции диспетчера автоматически, и устройства для ввода и вывода информации из управляющих машин. В них включаются также устройства для выделения и предварительной обработки полезной информации, называемые устройствами сбора информации телеконтроля. Развитие функций, выполняемых системой телемеханики, иллюстрируется рис. 2.

Существующая тенденция укрупнения и перехода к комплексным системам управления должна привести в ближайшие 10—20 лет к преобладанию в народном хозяйстве крупных систем управления, состоящих из средств местной автоматики, управляющих машин и систем телемеханики, автоматически передающих информацию управления. По объему и сложности технических средств все три составляющие части будут примерно равноценны.

Развитие и внедрение телемеханизации во многих отраслях народного хозяйства выдвинет на первый план проблему каналов связи, которые являются самой дорогостоящей частью. Системы телемеханики, занимающие сравнительно небольшое пространство внутри завода, промысла, шахты, будут и в дальнейшем иметь специализированные каналы связи, принадлежащие данному предприятию или промыслу. Совсем иной подход должен быть к системам телемеханики с протяженными ка-

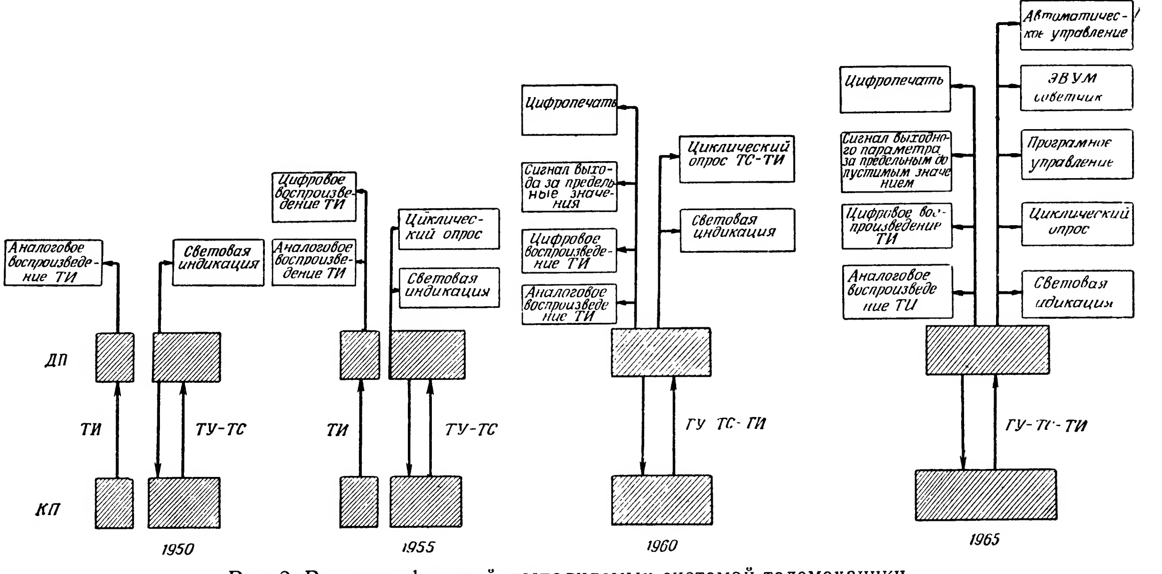


Рис. 2. Развитие функций, выполняемых системой телемеханики.

налами связи, например в энергообъединениях, на магистральных трубопроводах в ирригации и т. д. В этих случаях каналы будут главным образом абонироваться у организаций связи.

В настоящее время проектируется единая система связи Советского Союза, предусматривающая резкое увеличение емкости линий связи по всей стране, начиная от районной сети до магистральных линий. Единая система связи будет иметь каналы для телеграфа, телефона, телевидения и телемеханики. Между крупными центрами все больше вступают в строй радиорелейные, кабельные и другие линии, рассчитанные на одновременную работу многих тысяч каналов связи. Если сейчас телемеханика занимает небольшую часть емкости линий связи, то с ее развитием, при одновременном резком увеличении суммарной емкости линий, удельный вес телемеханики резко возрастет.

2. УСТРОЙСТВА ТЕЛЕМЕХАНИКИ

Примерно до середины 50-х годов работы в области телемеханики были направлены, главным образом, на создание отдельных устройств ТУ — ТС и ТИ. Аппаратура строилась на основе релейно-контактных элементов и устройств с движущимися частями. При разработке телемеханической аппаратуры часто возникала необходимость в построении сравнительно сложных электрических схем с релейно-контактными элементами. В связи с этим главным образом в телемеханике начала развиваться теория релейно-контактных схем [Л. 7], которая длительное время считалась основной теоретической базой телемеханики. Построение такой аппаратуры в значительной мере зависело от искусства разработчиков. В этот период еще не были сформулированы важнейшие проблемы телемеханики [Л. 11].

В начале 50-х годов стала ощущаться настоятельная необходимость технического перевооружения телемеханики, вызванная ограничениями и недостатками, присущими электромеханическим элементам аппаратуры. Был поставлен вопрос о создании бесконтактных устройств телемеханики. Проблема заключалась в изыскании новых принципов построения элементов и устройств, в разработке новых структур систем и более совершенных методов передачи информации.

Применительно к новым бесконтактным полупроводниковым, магнитным и другим элементам получают дальнейшее развитие принципы построения и теория устройств телеуправления, телесигнализации и телеизмерения с временным, частотным и комбинированным разделением сигналов. Все более широкое развитие получают кодовые устройства телемеханики [Л. 1, 10, 12, 14, 20, 30].

Во второй половине 50-х годов в развитии бесконтактной телемеханики четко обозначилась тенденция перехода к функционально сложным системам, характеризующимся развитой структурой и логикой и комплексным характером передаваемой информации, а также тенденция унификации и типизации аппаратуры [Л. 16].

В связи с широким внедрением в 50-х годах телемеханизации на массовых рассредоточенных объектах (в нефтедобыче, ирригации и т. п.) было показано, что для таких объектов наиболее простые решения при высокой надежности работы дают частотные и частотно-временные системы телемеханики [Л. 12, 20].

Одним из новых направлений является создание в Институте автоматики и телемеханики комплекса мостовых элементов и построение на их основе импульсных устройств и систем телемеханики асинхронного и синхронного типов [Л. 15].

Накопленный опыт эксплуатации бесконтактных систем телемеханики подтвердил их высокую надежность и позволил перейти к построению сложных систем с большим количеством деталей, построение которых на релейно-контактных элементах было невозможно.

Одной из основных проблем в области создания телемеханических устройств является разработка принципов построения сложных замкнутых систем телемеханики со структурной и информационной избыточностью, выполняющих свои функции при импульсных помехах и отказах элементов аппаратуры. В этой связи большое значение имеет разработка устройств, имеющих широкую область функционирования и обладающих малой чувствительностью к постепенным отказам аппаратуры, с автоматической подстройкой параметров при возмущающих воздействиях. Весьма важной задачей при создании высоконадежных устройств телемеханики, приспособленных для заводского производства, является уни-

фикация кодов, сигналов, каналов, блоков, элементов, конструкций устройств и их входов и выходов.

Аппаратура контролируемых пунктов в устройствах телемеханики часто работает в тяжелых климатических условиях и без постоянного дежурного персонала. Следовательно, проблема надежности здесь становится более острой и имеет специфику в решениях. Кроме того, системы телемеханики помимо информации управления, как правило, передают вспомогательную информацию для контроля оборудования. Поэтому устройства телемеханики по надежности должны характеризоваться высокими характеристиками.

Устройства ТС — ТУ и ТИ вначале разрабатывались изолированно одно от другого для сосредоточенных объектов с работой по отдельным каналам связи. В дальнейшем возникла проблема построения все более комплексных устройств телемеханики — ТУ, ТС, ТИ, использующих общие каналы связи для рассредоточенных контролируемых пунктов. Дальнейшим этапом развития комплексных устройств телемеханики явилось включение в них также устройств для сбора, распределения и представления информации в виде, удобном для восприятия и для ввода в управляющие машины.

Получают дальнейшее развитие телеавтоматические системы с частичным или полным освобождением оператора или диспетчера от функций оперативного управления, а также системы с многоступенчатым управлением.

Комплексная автоматизация производственных процессов с применением цифровых вычислительных и управляющих машин сопровождается увеличением потоков информации, используемой для управления производством. Автоматизация процессов сбора, передачи, приема информации при помощи телеавтоматических систем вызвала необходимость согласования устройств телемеханики и цифровых управляющих машин.

В последние годы объединенными усилиями нескольких институтов разработаны и создаются крупные системы телемеханики с многоступенчатым управлением для трубопроводов, крупных промышленных комбинатов, продажи билетов на самолеты и т. п. С переходом к таким системам еще больше возрастает количество передаваемой информации. Возникает необходимость в новых устройствах для согласования работы аппаратуры

на различных ступенях управления (между ДП данной ступени и КП вышестоящей ступени).

В связи с быстрым ростом сложных систем управления территориально рассредоточенными процессами существенно возросли требования к устройствам телемеханики, связывающим в единое целое многоступенчатые комплексы аппаратуры. При этом, в зависимости от конкретных условий, телемеханика определяет как пути прохождения информации, так и алгоритм ее передачи, что приводит к сложным структурным схемам.

3. ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМ БОЛЬШОЙ ЕМКОСТИ

При автоматизации производственных процессов, с укрупнением комплекса, охватываемого единой системой управления, возникают следующие задачи.

Первая задача — оснащение отдельных станков, машин и агрегатов автоматическими устройствами, поддерживающими в наивыгоднейшем режиме работу всех простейших звеньев технологической цепочки, и переход к новым отдельным станкам и машинам-автоматам. К таким устройствам относятся различные циклические автоматы, станки и устройства с программным управлением, автоматические регуляторы, устройства защиты и т. п. Все автоматические устройства при этом устанавливаются в непосредственной близости от технологических объектов, поэтому не требуют применения методов и средств телемеханики и называются устройствами местной автоматики.

Вторая, более сложная, *задача* связана с оперативным управлением участком или цехом, промыслом, поточно-транспортным сооружением и т. п. В такой производственный участок входят комплексы машин, агрегатов, часто различные по технологии, объединенные общим производственным процессом. Для управления здесь необходимо анализировать показатели простейших звеньев технологической цепочки и поддерживать оптимальный режим работы комплекса. С этой целью применяются средства циклического опроса и обегающего контроля, сигнализирующего о выходе параметров за установленные нормы, устройства для вычисления сводных параметров и показателей (к. п. д., себестоимости и т. п.), а также различные оптимизаторы и моделирующие установки, предназначенные для оптимизации режимов по сводным параметрам и показателям.

Оперативное управление при решении второй задачи может осуществляться в большей или меньшей степени операторами с помощью средств автоматизации, более сложных чем в первой задаче. Такими средствами могут быть и цифровые вычислительные машины.

Характерной особенностью управления производственными участками, цехами и др. подразделениями является известная их автономность при решении задач оперативного управления. Примерно так же, как автоматический регулятор поддерживает уровень, скорость, температуру в соответствии с заложенными в него принципами, так и автоматические устройства управления производственным участком решают поставленные перед ними задачи в соответствии с заложенными в них принципами и алгоритмами управления.

Третья задача требует более сложных решений, связанных с управлением крупным объединением участков, предприятий, промыслов, входящих в производственный комплекс. Для решения задач оптимизации по сводным показателям при этом необходимо учитывать все многообразие возможных состояний комплекса, опыт работы данного комплекса и ряда других систем. Отклонение от оптимального режима здесь вызывает абсолютные потери значительно большие, чем в 1-й и 2-й задаче.

При автоматизации такого сложного комплекса требуется сбор, передача и переработка во много раз большего количества разнообразной информации. Оптимизация режима работы комплекса достигается в результате решения многих задач, связанных с анализом работы каждого производственного участка за прошедший месяц, день или час, с учетом накопленного опыта работы в течение более длительного периода. Необходимо производить бухгалтерский и статистический учет: планово-производственные расчеты, оперативный технико-экономический анализ работы всех участков системы, оперативное и долгосрочное планирование производственного процесса. Решение таких задач одному оператору или диспетчеру обычно не под силу, поскольку количество информации, которое необходимо перерабатывать, значительно превышает человеческие возможности. Все эти задачи могут выполняться одной или несколькими цифровыми вычислительными или управляющими машинами и при этом, чем сложнее автоматический комплекс, тем больше должно быть ступеней управления.

Центральный пункт управления при этом решает общие задачи управления всем комплексом с учетом связи его с внешним миром. В результате вырабатываются общая программа, прогнозы и корректировка работы всех подчиненных пунктов управления. Центральный и каждый вышестоящий диспетчерский пункт минимально вмешивается в оперативную работу подчиненных пунктов управления.

Если при решении первой и частично второй задач важное значение имеет динамика системы, решаемая методами теории автоматического регулирования, то при решении третьей задачи и в более сложных системах на верхних ступенях управления динамика системы может не являться важнейшей задачей.

С увеличением количества объектов управления и их неоднородности увеличивается и оптимальное число пунктов управления. Пункты управления низшей ступени наиболее многочисленны. Они связаны с тяготеющими к ним объектами, а также с пунктами управления следующей, более высокой ступени. Последние, в свою очередь, связаны с узловыми пунктами управления еще более высокой ступени и т. д. Возможна также непосредственная связь между пунктами одной ступени. Иерархия управления может быть также не комплексной и применяться, например, только при контроле, или только при передаче команд управления, т. е. при передаче информации в одном направлении.

К очень сложным телеуправляемым комплексам с развитой иерархией относятся объединенные энергетические системы в Советском Союзе, США и в Западной Европе, магистральные трубопроводы, крупные промышленные комбинаты, системы противовоздушной обороны, системы управления движением самолетов и т. п.

Простейшим примером системы большой емкости с развитой иерархией является система телемеханики магистрального нефтепровода или газопровода с трехступенчатым управлением (рис. 3). По такой схеме, например, построена комплексная система телемеханики для трубопровода Куйбышев — Брянск и строится ряд других систем в газовой промышленности и в других отраслях народного хозяйства.

Линейные объекты управления на трубопроводе (задвижки, краны, станции антикоррозионной защиты, газораспределительные станции и др.) имеют устройства

местной защиты и другие местные автоматы, которые относятся к I ступени управления. Они связаны с районными контролируемыми пунктами (КПР). Линейные пункты управления (РДП) относятся к II ступени управления и территориально размещаются обычно на насосных станциях (НС) нефтепровода или на компрессорных станциях газопровода. Расстояние между станциями составляет 100—200 *км*. Система телемеханики для линейных объектов называется системой районной дис-

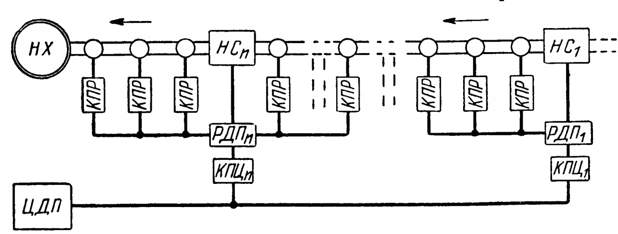


Рис. 3. Схема устройств телемеханики при трехступенчатом управлении магистральным трубопроводом. *НХ* — нефтехранилище.

петчеризации. Управление насосными станциями осуществляется с центрального пункта (ЦДП), который относится к III ступени. Связь между системами телемеханики II и III ступеней осуществляется с помощью переходных устройств между контролируемыми пунктами центральной службы (КПЦ) и РДП. Это позволяет телеуправлять линейными сооружениями нефтепровода с центрального пункта управления.

Каждая из насосных станций нефтепровода является сравнительно крупным сооружением, имеющим несколько (до девяти насосов) мощностью 3—10 тыс. *квт* каждый.

Телемеханизация трубопровода позволяет выбирать и поддерживать оптимальный режим насосных станций и всех линейных сооружений, а также своевременно принимать меры для устранения аварий и предотвращения их нарастания.

Для системы телемеханики центральной службы используются каналы магистральной связи. Стоимость абонирования такого канала в течение года обычно в несколько раз превышает стоимость аппаратуры телемеханики, поэтому к эффективности использования канала предъявляются высокие требования. Существенно

отличные условия работы имеет система телемеханики районной службы, где поток передаваемой информации во много раз меньше. Здесь часто используется выделенная линия связи (физическая) со сравнительно широкой полосой пропускания, поэтому эффективность передачи существенного значения не имеет. В то же время, из-за возможного использования воздушных проводных линий с большим уровнем помех, предъявляются высокие требования к помехоустойчивости передачи сигналов. Это создает существенное различие между принципами построения системы телемеханики для центральной и районной службы, тем более, что линейные контролируемые пункты часто не электрифицированы и не имеют местных источников питания.

Наилучший режим системы управления трубопроводом может быть достигнут, если оптимальное количество включенных на каждой станции насосов и порядок их работы определяется вычислительной машиной, при заданном различном во времени и по длине трубопровода потоке перекачиваемой нефти. Установка цифровой вычислительной машины на трубопроводе, по зарубежным данным, оказалась рентабельной.

Как второй пример системы телемеханики большой емкости с развитой иерархией можно назвать систему для объединенной группы нефтепромыслов. В 1965 г. на нефтепромыслах Советского Союза эксплуатировалось больше 120 пунктов управления (диспетчерских пунктов), оборудованных системами телемеханики.

В результате телемеханизации наблюдается тенденция к укрупнению нефтепромыслов, появляется необходимость более согласованной работы всех объектов данного месторождения, включая нефтедобывающие, водозаборные скважины, скважины законтурного заводнения и различные установки на промысле для очистки нефти.

В настоящее время большие месторождения нефти разделены на несколько независимых частей — нефтепромыслов, что затрудняет их согласованную работу. Кроме того возникает необходимость обработки большого объема информации о состоянии нефтеносных пластов и производственно-статистической информации. В связи с этим уже сейчас рационально объединение группы телемеханизированных нефтепромыслов в единый производственный комплекс с помощью системы телемеханики, образующей верхнюю ступень управления.

На центральном пункте управления при этом может быть установлена цифровая вычислительная или управляющая машина для выполнения указанных выше функций. Интересно заметить, что на ЦДП все основные функции может выполнять машина, в то время как на районном пункте управления (на диспетчерском пункте нефтепромысла) человек-оператор необходим во всем обозримом будущем. Он будет управлять ремонтными и многими другими работами, трудно поддающимися ал-

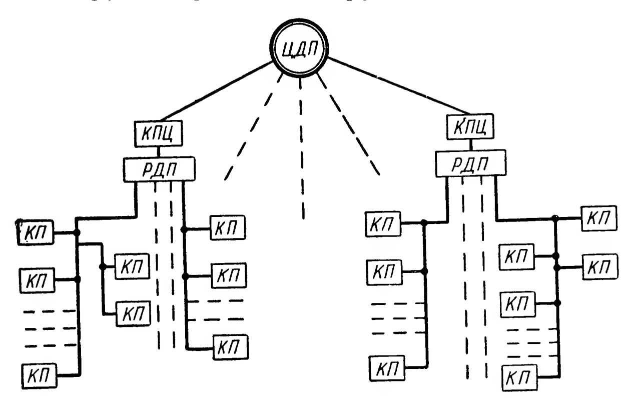


Рис. 4. Схема устройств телемеханики при трехступенчатом управлении объединением нефтепромыслов.

горитмизации. Схема трехступенчатого управления объединением нефтепромыслов приведена на рис. 4.

Мы рассмотрели простейшие примеры систем телемеханики большой емкости с трехступенчатым управлением. Сейчас в энергетике уже созданы еще более сложные по структуре системы с четырех- и пятиступенчатым управлением, оборудованные средствами телемеханики.

В 1960 г. вступила в строй крупнейшая объединенная энергосистема — Единая энергетическая система Европейской части СССР (ЕЭС). В нее входит более 20 энергосистем Советского Союза, соединенных между собой высоковольтными линиями электропередачи, имеющих диспетчерские пункты энергосистем, районные диспетчерские пункты, а в ряде случаев и объединенные диспетчерские пункты для нескольких энергосистем. Из центрального диспетчерского пункта в Москве осуществляется управление сложным энергетическим хозяйст-

вом, расположенным в крупных промышленных районах Европейской части СССР, удаленных от Москвы на тысячи километров. Это, например, позволяет направлять электроэнергию Волжской ГЭС на Урал или в Москву для покрытия несовпадающих по времени пиковых мощностей потребления.

Централизованное управление перетоками электроэнергии между различными промышленными районами дает весьма большой экономический эффект и повышает бесперебойность снабжения электроэнергией. В таких сложных системах успешно сочетается некоторая автономия районов при оперативном управлении и подчиненность центру при решении задач управления всей системой в целом.

Можно назвать следующие области народного хозяйства, в которых крупные системы телемеханики с развитой иерархией уже созданы или создаются:

1) энергосистемы;

2) магистральные нефтепроводы и газопроводы;

3) магистральные кабельные линии связи (симметричный и коаксиальный кабели) с обслуживаемыми и необслуживаемыми промежуточными усилительными пунктами, которыми необходимо управлять. Такие линии обеспечивают большое количество каналов связи и относятся к сложным сооружениям с трех- и четырехступенчатым управлением;

4) объединения нефтепромыслов;

5) железнодорожный транспорт;

6) объединения ирригационных систем (для централизованного распределения воды на всем протяжении реки);

7) система продажи билетов на самолеты;

8) крупные заводы и объединения заводов и шахт (нефтеперерабатывающие заводы, химические комбинаты и др.).

По характеру рассредоточенности контролируемых пунктов системы телемеханики разделяются на рассредоточенные вдоль линии, по площади и в пространстве. Примеры первой и второй групп были нами рассмотрены (см. рис. 3 и 4). К третьей группе относятся, например, системы для шахт.

По характеру подчиненности и характеру связей системы управления разделяются на моноиерархические и полииерархические. Моноиерархические более простые

системы имеют только радиальные связи на каждой ступени управления — между данным пунктом управления и подчиненными ему КП. Прямые связи между КП отсутствуют, и поэтому информация передается только сверху вниз или в обратном направлении (радиально).

Полииерархические системы имеют более сложную структуру из-за наличия дополнительных связей между контролируемыми пунктами или между промежуточными ДП. При этом информация передается как по вертикали между пунктами управления и подчиненными им контролируемыми пунктами, так и между контролируемыми пунктами (по горизонтали).

Рассмотрим полииерархическую систему на примере системы телемеханики для продажи билетов на самолеты. Естественно, что потоки пассажиров будут иметь место между всеми или между подавляющим большинством аэропортов, но распределены они будут неравномерно. Так, всегда наблюдается увеличенный поток пассажиров внутри каждой области, края и республики, кроме того, существует административное разделение аэропортов по областям, краям и республикам. Но, несмотря на это, выбор моноиерархической структуры для продажи билетов на самолеты нерационален, так как через центральный и некоторые другие пункты управления при этом будет проходить значительная часть потока заказов на билеты, что вызовет их перегрузку. Моноиерархическая система также менее надежна. Например, повреждение центрального пункта управления нарушает работу всей системы. Более рационально установить прямые связи между республиками и крупными областными пунктами для разгрузки центрального пункта управления. Также целесообразно иметь прямые связи между районными пунктами данной области. При такой структуре повреждение любого пункта не вызывает нарушения работы всех остальных.

На рис. 5 приведена упрощенная схема полииерархической системы для продажи билетов на самолеты. На крупных центрах будут установлены цифровые машины, хранящие информацию о наличии билетов. Из каждой билетной кассы, расположенной в данном районе, кассир с помощью системы телемеханики и цифровой информационной машины сможет заказать билет на необходимый ему самолет, включая самолеты, вылетающие из других аэропортов.

В системе телемеханики типа человек-машина, предназначенной для этой цели, передается информация ТУ, ТС. Предусматривается автоматический запрос билета на самолет и проверка при продаже билета.

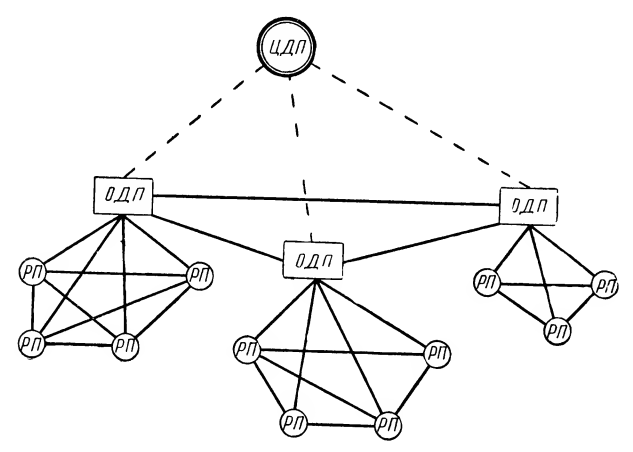


Рис. 5. Упрощенная схема полиерархической системы. *ОДП* — областной диспетчерский пункт.

Развитие систем телемеханики большой емкости несомненно открывает широкие горизонты для создания более совершенных производственных и других комплексов и имеет большое значение для самых различных отраслей народного хозяйства.

ГЛАВА ВТОРАЯ

О ВЫБОРЕ ИЕРАРХИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

4. ПЕРВЫЕ РАБОТЫ

С укрупнением систем управления и увеличением числа рассредоточенных объектов при определенных условиях целесообразен переход к иерархии управления, которая является одним из основных принципов кибернетики. Относительно низкая надежность и высокая стоимость протяженных каналов связи требует большей автономности объектов на местах, поэтому переход

к иерархии управления целесообразен даже для сравнительно простых телемеханических комплексов [Л. 17].

В системах большой емкости возникают задачи построения оптимальной иерархии, оптимальной структуры диспетчерского и контролируемых пунктов, а также сетей связи.

Оптимизация структуры должна производиться на основе некоторых обобщенных критериев. При этом, если для разветвленных каналов связи на нефтепромысле достаточно использовать сравнительно простые методы, на-

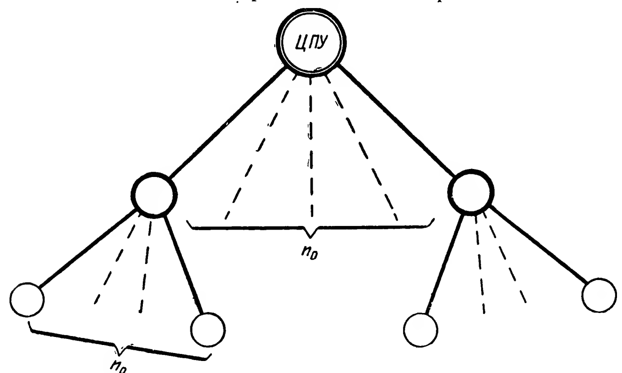


Рис. 6. Иерархическая система управления.

пример, основанные на применении алгоритма Прима [Л. 9], то выбор рациональной структуры крупных систем управления требует применения теории массового обслуживания и другого более сложного математического аппарата.

Разработке критериев оценки и оптимизации структур систем передачи информации управления посвящен ряд работ [Л. 2, 8, 12, 18, 24 и 29]. В [Л. 12] рассмотрена оптимальная структура линий связи.

В работе [Л. 18] на основе экономического критерия полных затрат впервые поставлена и решена задача оптимизации многоступенчатой иерархической структуры управления при ряде ограничений. В этой работе рассмотрена симметричная иерархическая структура с одинаковым числом контролируемых пунктов n_0, подключенных к пункту управления на каждой ступени (рис. 6) Принято, что экономические потери, вызванные отказами (повреждениями) аппаратуры, пропорциональны времени восстановления.

Полученные в [Л. 18] зависимости экономических потерь от числа ступеней управления m при различной относительной стоимости канала связи a приведены на рис. 7. Они построены для суммарного числа контролируемых пунктов на низшей ступени $N=1000$. Из рис. 7 следует, что с увеличением относительной стоимости канала связи a оптимальное число ступеней m возрастает. Так, для $a=0{,}05$ $m_{\text{опт}}=3$; для $a=0{,}2$ $m_{\text{опт}}=4$ и т. д.

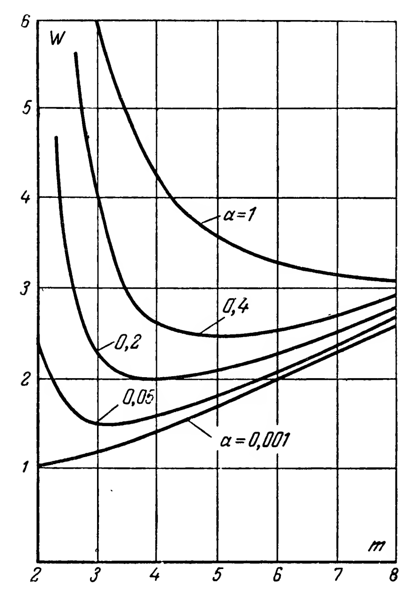


Рис. 7. Зависимость экономических потерь W от числа ступеней управления m при различной относительной стоимости канала связи a.

$$a=\frac{c_0 l_0/t_к}{W_1}10^5,$$

где c_0 — стоимость единицы длины канала связи; l_0 — расстояние между двумя соседними КП; $t_к$ — время использования канала в системе управления; W_1 — экономический эффект, получаемый от внедрения системы управления.

t_0, годы
10 КП без резервирования
10 КП резервирование оптимальное
$\log_2 \frac{1}{2\delta}$
1,2
1,6
2
2,4
6
8
10

Рис. 8. Зависимость срока окупаемости t_0 от точности измерения $\log_2 \frac{1}{2\delta}$, где δ — погрешность.

Применение критерия полных затрат позволяет оптимизировать не только структуру, но и другие параметры. В Институте автоматики и телемеханики были решены задачи оптимальной точности и оптимального обслуживания системы телемеханики для магистрального газопровода при минимальном времени окупаемости. На рис. 8 приведены полученные при решении этих задач зависимости срока окупаемости t_0 от точности те-

леизмерения, а на рис. 9 зависимости срока окупаемости системы t_0 от количества резервного оборудования $M_{рез}$.

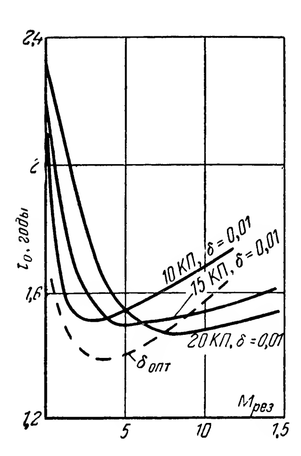


Рис. 9. Зависимость срока окупаемости t_0 от количества резервного оборудования $M_{рез}$ при различной погрешности телеизмерений δ.

5. ОПТИМИЗАЦИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ИЕРАРХИИ

Иерархическая структура количественно характеризуется коэффициентами иерархии S на каждой ступени управления и числом ступеней управления m. S — число человек, подразделений или объектов (в технике) на данной ступени управления, непосредственно подчиненных вышестоящему подразделению.

Если в армии коэффициент иерархии изменяется в пределах $S=3\div9$ и определяется в значительной степени возможностями человека, то в технических системах управления коэффициент иерархии часто имеет значительно большую величину.

Выбор структуры в моноиерархической системе по существу сводится к выбору коэффициентов иерархии S на каждой ступени управления. Оптимизацию коэффициентов S в промышленных системах целесообразно производить по комплексным экономическим критериям.

Для крупных систем зависимость полных экономических потерь W на один контролируемый или управляемый пункт от числа контролируемых пунктов n.

$$W=\frac{W_\Sigma}{n}=\varphi(n)$$

имеет минимум при определенном $n_{опт}$. Из экономических соображений следует выбрать коэффициент иерархии

$$S=n_{опт}.$$

Следовательно, задача оптимизации коэффициентов иерархии может быть сведена к нахождению $n_{опт}$.

Аналогичный метод был предложен [Л. 12] для оптимизации структуры каналов связи в системах телемеханики для рассредоточенных объектов.

Задача оптимизации иерархической структуры предлагаемым методом сводится к минимизации экономических потерь на один контролируемый пункт при выборе числа КП n_i на i-й ступени управления.

Оптимальное число пунктов управления n_2 для контролируемых пунктов нижней ступени, с точностью до ближайшего целого числа, находится из выражения:

$$n_2 = \frac{N}{n_{1\text{опт}}},$$

где N — суммарное число КП нижней ступени;

$n_{1\text{опт}}$ — оптимальное число КП I ступени, при котором экономические потери на один КП минимальны.

Таким же путем определяется количество пунктов управления на более высоких ступенях управления.

В отличие от [Л. 18], предлагаемый метод позволяет уже сейчас для принятых ограничений ставить и решать задачи оптимизации иерархических структур. Оптимизация иерархической структуры рассматриваемым методом не ограничивается однородными структурами, так как $n_{\text{опт}}$ на нижней ступени может быть различным для разных групп КП. Это же относится и к промежуточным ступеням управления, на которых для определения S_i пункты управления нижестоящими объектами рассматриваются как КП.

Зависимость $W(n)$ целесообразно найти по частям и экономические потери W представить как сумму:

$$W = \frac{W_\Sigma}{n} = W_0 + W_\text{к} + W_\text{р} + W_\text{у},$$

где W_0 — составляющая экономических потерь на один КП, вызванных капитальными и эксплуатационными затратами на систему управления, без учета потерь на каналы связи $W_\text{к}$ (на один КП), потерь на ремонт оборудования при его повреждениях, отнесенных к одному контролируемому пункту $W_\text{р}$ и потерь на один КП, вызванных отклонением от нормального режима управления $W_\text{у}$.

С целью иллюстрации метода определим составляющие потерь упрощенно и введем следующие ограничения:

1. Повреждения обнаруживаются мгновенно, а время восстановления $t_р \ll \frac{1}{F}$, где F — частота повреждений.

2. При отсутствии повреждений $W_у=0$, т. е. в этом случае управление системой осуществляется идеально. Такой подход целесообразен для выбора структуры систем управления, в которых можно приблизиться к реализации идеального алгоритма при достаточном количестве информации управления и возможности ее переработки без существенных ограничений (примерами таких систем являются трубопроводы, ирригационные системы, железнодорожный транспорт, нефтепромыслы и т. п.).

Зависимость $W_0=\varphi_0(n)$ имеет характер монотонно убывающей кривой, так как капитальные и эксплуатационные затраты, отнесенные к числу КП, уменьшаются с увеличением n. Потери W_0 для многих случаев можно записать в виде

$$W_0 = c + \frac{q}{n},$$

где c и q — постоянные коэффициенты.

Удельные потери на каналы связи $W_к$ не зависят или слабо зависят от числа n. Для КП, равномерно рассредоточенных вдоль линии, $W_к$ в широких пределах не зависит от n. Для объектов, рассредоточенных по площади, $W_к$ уменьшается с увеличением n и характер зависимости $W_к=\varphi_к(n)$ определяется структурой каналов связи.

Для контролируемых пунктов, размещенных равномерно по площади (нефтепромыслы, газопромыслы, крупные промышленные комбинаты и т. п.), с расстоянием между соседними КП, равным l_0, минимальную длину связи получим, если проводные линии проложить по диагоналям, а пункты управления разместить в соответствии с рис. 10.

При кустовой структуре линий связи, обеспечивающей наиболее высокую структурную надежность [Л. 12], суммарная длина линий связи L для числа кустов $r>2$ будет:

$$L \approx \frac{2}{3}\left[n\sqrt{2} + (r-2)\left(1-\frac{1}{\sqrt{2}}\right)\sqrt{n}\right] l_0.$$

Тогда

$$W_к = k_к l_0 \left[\sqrt{2} + \frac{(r-2)\left(1 - \frac{1}{\sqrt{2}}\right)}{\sqrt{n}} \right],$$

где $k_к$ — постоянный коэффициент.

В отличие от W_0 и $W_к$, составляющие потерь $W_р$ и $W_у$ для протяженных каналов связи могут возрастать с увеличением n.

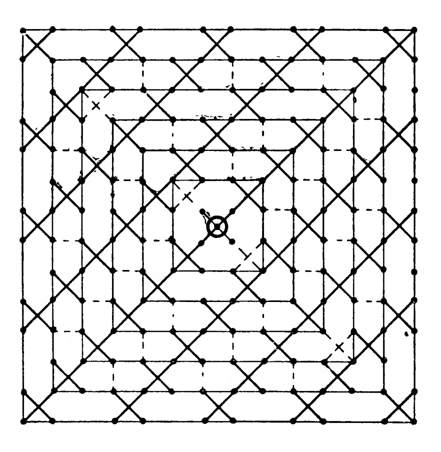


Рис. 10. Схема соединения КП, равномерно размещенных по площади.

Пунктиром показаны вторичные соединения между диагоналями.

Потери на восстановление аппаратуры $W_р$ зависят от частоты повреждения F одного КП, стоимости восстановления аппаратуры на месте повреждения и от дорожных расходов.

Потери на отклонение от оптимального управления при отказах аппаратуры равны

$$W_у = F\psi(t),$$

где $\psi(t)$ — зависимость потерь от времени восстановления аппаратуры t.

Для сравнительно простых контролируемых пунктов потери часто пропорциональны времени восстановления t, тогда

$$\psi(t) = k_у t,$$

где $k_у$ — потери в единицу времени.

К таким КП, например, относятся нефтескважины, уменьшение дебита которых пропорционально времени простоя (рис. 11, пунктир).

Время восстановления t состоит из времени ремонта t_1 и времени проезда до контролируемого пункта, которое можно принять пропорциональным расстоянию l до КП

$$t = t_1 + k_2 l.$$

Тогда для контролируемых пунктов, размещенных равномерно вдоль общей линии с расстоянием l_0 между соседними КП,

$$W_у = b_у n + c_у,$$

где $b_у = k_3 l_0 F$,

$$k_3 = \frac{k_у k_2}{2};$$

$$c_у = F k_у t_1.$$

Для более крупных и сложных КП с развитой местной автоматикой, для которых с пункта управления передаются уставки оптимального режима, зависимость $\psi(t)$ на рис. 11 имеет вид, изображенный непрерывной кривой. При этом для кратковременных перерывов в передаче оптимальных уставок потери ничтожно малы. С увеличением времени восстановления t расхождение с оптимальным режимом и потери резко возрастают. Эта зависимость на начальном участке, на котором целесообразно работать, хорошо аппроксимируется параболой

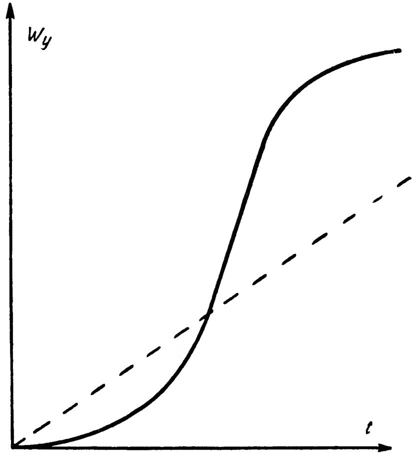


Рис. 11. Зависимость экономических потерь на отклонение от оптимального управления $W_у$ при повреждениях аппаратуры от времени восстановления аппаратуры t.

$$\psi(t) = k_4 t^2,$$

где k_4 — постоянный коэффициент.

К таким КП относятся, например, компрессорные и насосные станции трубопроводов.

Время восстановления t возрастает с увеличением расстояния l между КП и ДП и, как уже приводилось,

$$t = t_1 + k_2 l.$$

Для контролируемых пунктов, размещенных равномерно вдоль линии с расстоянием l_0 между соседними КП, получим:

$$W_у = F\overline{\psi(t)} = F\frac{k_5}{n}\sum_{i=1}^{n}(t_1 + k_2 l_i)^2 = a_у n^2 + b_у n + c_у,$$

где при $n \gg 1$

$$a_у = Fk_6 l_0^2; \quad b_у = k_7 t_1 l_0,$$

где k_5 — постоянный коэффициент.

Из проведенного упрощенного рассмотрения следует, что экономические потери W можно записать в виде многочлена

$$W = an^2 + bn + d\sqrt{n} + h\frac{1}{\sqrt{n}} + q\frac{1}{n}.$$

Этот многочлен может быть и неполным. Следует учесть что для определения $n_{опт}$ нас не интересуют члены, независящие от n.

Рассмотрим примеры систем управления.

1. Система без телепередачи информации с малой протяженностью высоконадежных каналов связи (локальная система). Затраты на каналы связи, дорожные расходы, время в пути при ремонте и потери на управление ($W_у$) относительно малы.

$$W_к + W_р + W_у \ll W_0 = \frac{q}{n} \approx W.$$

Следовательно, в этом случае экономические потери монотонно уменьшаются с увеличением n. Тогда $n_{опт} = N$ и применение иерархической структуры нерационально (для принятых допущений).

2. Контролируемые пункты размещены равномерно вдоль общей протяженной линии. Потери на ремонт $W_р$ пропорциональны расстоянию до КП.

а) $W_у = ktF$, где k — постоянный коэффициент.

К таким КП, например, относятся нефтескважины.

Тогда

$$\frac{W}{b} = n + \frac{q}{bn}.$$

Дифференцируя, определим $n_{опт}$

$$n_{опт} = \sqrt{\frac{q}{b}}.$$

На рис. 12 приведены зависимости $\frac{W}{b} = \varphi(n)$ при различных значениях q/b.

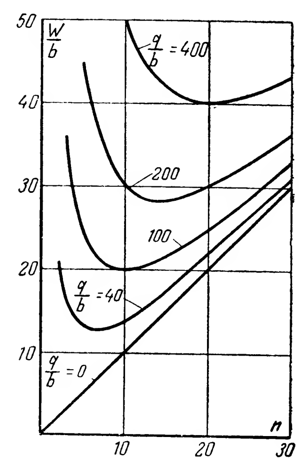


Рис. 12. Зависимость приведенных экономических потерь W/b от числа контролируемых пунктов n, рассредоточенных вдоль общей линии.

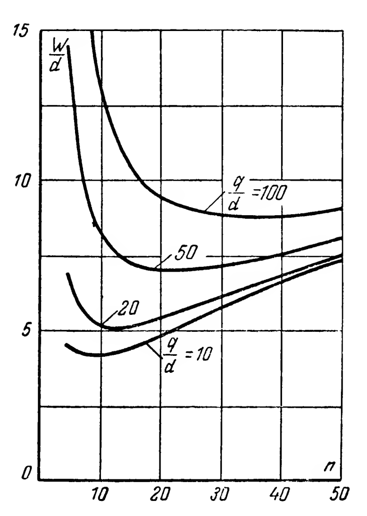


Рис. 13. Зависимости приведенных потерь W/d от числа контролируемых пунктов n, рассредоточенных по площади.

б) $W_у = k_6Ft^2$ (более сложные КП с развитой местной автоматикой).

Тогда

$$\frac{W}{a} = n^2 + \frac{b}{a}n + \frac{q}{a}\frac{1}{n}.$$

$n_{опт}$ можно определить из уравнения

$$2n_{опт} + \frac{b}{a} - \frac{q}{a}\frac{1}{n_{опт}^2} = 0.$$

3. Контролируемые пункты размещены равномерно по площади для $W_у = ktF$:

$$\frac{W}{d} = \sqrt{n} + \frac{q}{dn},$$

где $d = k_7 F l_0$, k_7 — постоянный коэффициент.

$n_{опт}$ будет:

$$n_{опт} = \sqrt[3]{\left(\frac{2q}{d}\right)^2}.$$

Зависимости $\frac{W}{d} = \varphi(n)$ при различных значениях q/d приведены на рис. 13. Из сравнения рис. 12 и рис. 13 следует, что при равномерном размещении КП по площади выбор $n_{опт}$ менее критичен.

Приведенные примеры только иллюстрируют метод оптимизации коэффициента иерархии. В реальных условиях определение $n_{опт}$ может приводить к более сложной задаче.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

КОДИРОВАНИЕ

6. ВВОДНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Кодирование в телемеханике применяется для преобразования дискретных или квантованных сообщений в сигналы, приспособленные для передачи по реальному каналу связи с помехами. В обратном процессе — декодировании — телемеханический сигнал преобразуется в воздействие, соответствующее переданному сообщению, которое подается на управляемые объекты, индикаторные устройства и т. п.

Для кодирования характерен скачкообразный переход от одной комбинации кода к другой и соответственно при декодировании — скачкообразный переход от одного воздействия к другому. Код служит для передачи дискретных сообщений или чисел, а не непрерывных величин. Любой код содержит набор комбинаций, составленных из элементов сигнала. Используются элементы сигнала в виде импульсов, отличающихся по времени передачи (код с временным разделением элементов сигнала) или частотой заполнения импульса (код с частотным разделением). В ряде случаев оба эти способа разделения используются одновременно.

В телемеханике применяются также амплитудные, фазовые и полярные импульсные признаки разделения элементов сигнала, но они обладают меньшей универсальностью и поэтому в системах большой емкости не

получили широкого применения. Амплитудные признаки обычно не обеспечивают высокой помехоустойчивости, полярные признаки затрудняют применение частотных каналов, а фазовые признаки требуют специальных высокостабильных генераторов.

Широкое применение временного и частотного разделения обусловлено независимостью искажений отдельных элементов и удобством их разделения.

Если каждый из элементов сигнала в коде имеет один из k признаков, а в комбинировании участвует n элементов, то максимальное число комбинаций

$$N = k^n.$$

В телемеханике наряду с другими наиболее часто применяется двоичный код, у которого $k=2$, т. е. используются только два импульсных признака: 0 и 1 (наличие или отсутствие импульса, положительная или отрицательная полярность, импульсы двух различных длительностей, две различные частоты и т. п.). При этом

$$N = 2^n.$$

С целью повышения надежности передачи команд телеуправления в условиях помех в телемеханике широко применяются коды с избыточностью, для которых принимается число комбинаций $N < k^n$. Это создает возможность обнаруживать ошибки и позволяет использовать защиты по четности, числу импульсов с одинаковыми признаками и т. п.

Если в телеграфной связи широко применяются двоичный пятиразрядный код и код Морзе, то в системах телеуправления, в зависимости от многообразных конкретных условий, используются самые разнообразные коды, в том числе многоступенчатые и коды с обнаружением ошибок.

Для телеуправления рассредоточенными объектами применяются, например частотные коды, в которых частота используется либо для разделения элементов комбинирования (параллельные частотные коды), либо как импульсный признак при последовательной во времени передаче элементов.

Многообразие способов кодирования обусловлено как бурным развитием телемеханики, так и разнообразием систем по объему передаваемой информации, быстродействию, по структуре, типу и протяженности линий связи.

Для передачи сообщений необходимо передать адрес объекта и содержание (текст) сообщений ТУ, ТС или ТИ. При этом рациональные решения во многих случаях дают многоступенчатые адресные коды, приспособленные для поиска информации. Такой сигнал (комбинация кода) состоит из нескольких частей. В первой части, например, передается выбор определенной группы объектов (часто размещенных на одном контролируемом пункте), во второй части передается выбор объекта в группе и уже затем команда ТУ или содержание ТС и ТИ. Это соответствует адресу письма (город, улица и т. п.) и содержанию письма (содержание команды). Ниже будет показано, что многоступенчатая адресная передача представляет большой интерес для систем телемеханики большой емкости.

Выбор оптимального кода часто является сравнительно сложной задачей, решение которой зависит не только от характера сообщений, параметров передатчика и канала связи, но и, что не менее существенно, от характера и уровня помех.

Все помехи, независимо от их происхождения, разделяются по форме на импульсные, флуктуационные и помехи в виде синусоидальных колебаний.

Кроме того, флуктуационные и импульсные помехи могут быть стационарными и нестационарными.

Помеха называется импульсной, если она состоит из коротких импульсов, следующих друг за другом через сравнительно большие промежутки времени, при которых устанавливающиеся процессы в системе от отдельных импульсов успевают закончиться до появления следующих импульсов, т. е. не накладываются друг на друга (время устанавливающегося процесса в системе меньше интервала между импульсами).

Характер помех зависит не только от источников помех, но и от длительности нестационарного процесса в канале связи и в фильтрах приемного устройства (до детектора). При одних и тех же источниках помехи могут быть импульсными или флуктуационными в зависимости от длительности нестационарного процесса τ, которая обратно пропорциональна полосе пропускания Δf,

$$\tau = \frac{k}{\Delta f}.$$

Для простейших избирательных систем коэффициент $k \approx 1$.

При определенных условиях помехи на входе приемного устройства имеют импульсный характер, а на выходе входного фильтра приемника — флуктуационный характер.

Известно, что для линейных систем выходной уровень импульсных помех $U_и$ пропорционален полосе пропускания устройств

$$U_и = k_1 U_{вх} \Delta f,$$

в то время как выходной уровень флуктуационных помех пропорционален квадратному корню из полосы пропускания

$$U_ф = k_2 U_{вх} \sqrt{\Delta f},$$

а выходная мощность помех в обоих случаях пропорциональна Δf.

Реальные помехи в ряде случаев трудно отнести к импульсным или флуктуационным, так как они являются суммой импульсных и флуктуационных помех, имеют характер пачек импульсов или относятся к промежуточной области.

Подавляющее большинство источников создают импульсные помехи с неравномерным спектром в самом источнике. При этом спектральная плотность уменьшается с увеличением частоты.

Источники помех обычно распределены в пространстве или по длине канала связи, т. е. находятся на различных расстояниях от приемника. А так как затухание канала связи возрастает с расстоянием и изменяется с частотой, то энергетический спектр (характеристика распределения энергии по частоте) в каждой точке пространства, а также уровень помех зависят не только от источника помех, но и от частотной характеристики канала. Поэтому, например, уровень атмосферных помех на коротких радиоволнах резко возрастает из-за лучшего распространения в этом диапазоне (на дальние расстояния). Спектральная плотность реальных помех изменяется с частотой более резко для всех проводных каналов, так как их затухание возрастает с увеличением частоты.

Коммутационные помехи от близко расположенных источников имеют характер импульсных помех. Собствен-

ные шумы приемника имеют характер флуктуационных помех.

В протяженных магистральных каналах связи с многими усилительными пунктами (кабельных, воздушных, радиорелейных) мощность помех в первом приближении пропорциональна длине канала связи, так как источники помех распределены по длине примерно равномерно, а линейные усилители компенсируют затухание в канале связи. Это справедливо, если канал связи линейный и не имеет ограничителей по минимуму.

В каналах тонального телеграфа и других каналах магистральной связи, часто используемых в системах телемеханики, наибольшее влияние имеют импульсные помехи нестационарного характера и помехи в виде пачек импульсов. При этом в некоторые интервалы времени наблюдается резкое увеличение интенсивности помех.

По данным французской Центральной компании беспроволочного телеграфа коэффициент ошибок (отношение неправильных к переданным знакам) из-за импульсных помех при телеграфной передаче составляет $3 \cdot 10^{-5}$. Для скорости 50 *бод* (телеграфный канал) это составляет 1 ошибку за 2 *ч*.

В телеграфных каналах Советского Союза, имеющих, как правило, большую протяженность, а следовательно и относительно большую интенсивность помех, коэффициент ошибок составляет примерно 10^{-4}.

Во всех телеграфных каналах, и особенно при недостаточно высоком уровне их эксплуатации, наблюдается резкое увеличение интенсивности помех и групповые импульсные помехи в отдельные промежутки времени.

По некоторым предварительным данным, увеличение интенсивности помех бывает в конце и начале рабочих смен и связано с переключениями и регулировкой аппаратуры. Наибольшая интенсивность помех имеет место в каналах, заходящих в кроссы на узлах связи. Групповые ошибки связаны с недостаточно хорошо поставленной эксплуатацией канала связи. В реальных каналах они имеют существенное значение.

Появление пачек ошибок подчинено пуассоновскому закону

$$P_m = \frac{(\lambda t)^m e^{-\lambda t}}{m!},$$

где P_m — вероятность появления пачки ошибок из m импульсов за время t;

λ — средняя вероятность возникновения пачки ошибок.

Для телеграфных каналов длиной 2—3 тыс. *км* $\lambda_{тг} = (4 \div 7) 10^{-5}$ и для телефонных каналов такой же длины $\lambda_{тф} = (6 \div 7) \cdot 10^{-5}$. Длина пачки l в первом приближении подчинена геометрическому закону распределения

$$P_l = P_1 (1 - P_1)^{l-1},$$

где P_1 — вероятность появления пачки единичной длины ($l = 1$).

Для указанных выше телеграфных каналов средняя длина пачки ошибок $l_{ср} = 10 \div 15$ и для телефонных каналов $l_{ср} = 10 \div 30$.

Причинами резкого возрастания ошибок могут быть перегрузка линейных усилителей, дребезг коммутационных контактов, пропадание несущей частоты, переключение канала с основного на резервный, переключение источников питания и т. п.

7. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЕРЕДАЧИ

Эффективность передачи сводится к передаче возможно большего количества информации через канал связи, т. е. к эффективному его использованию.

Сравнение устройств телеуправления, телесигнализации и телеизмерения производится по относительной скорости передачи R_F, вычисляемой как отношение скорости передачи информации в сообщении R к полосе частот F, занимаемой в канале связи [Л. 13],

$$R_F = \frac{R}{F} = \frac{\log N}{TF}, \tag{3}$$

где N — число возможных различных состояний системы, каждому из которых может соответствовать отдельное сообщение;

$\log N$ — количество информации в сообщении по Хартли при независимости и равновероятности N сообщений;

T — время, необходимое для передачи сообщения, зависит от N и от способа передачи;

F — полоса частот, занимаемая в канале связи, зависит от N и от способа передачи.

Если отдельные сообщения телесигнализации, телеуправления передаются с интервалами времени, то R_F характеризует эффективность во время передачи сообщения, аналогично мгновенной мощности при передаче импульсов.

Для одного и того же соотношения между временем передачи и паузами система с большей величиной R_F использует канал связи эффективнее, т. е. может передавать большее количество информации на единицу полосы занимаемых частот.

В последние годы с широким развитием телемеханизации и объема передач возникла необходимость в резком повышении эффективности передачи, что облегчается тем, что в системах телемеханики обычно имеется большая избыточность в канале связи и сравнительно небольшие потоки информации между диспетчерским пунктом и каждым управляемым пунктом. В таких системах экономически и технически нецелесообразно иметь выделенный канал для каждого контролируемого пункта. Резкое повышение эффективности передачи достигается использованием общего канала связи для группы рассредоточенных исполнительных или контролируемых пунктов. Чем больше исполнительных пунктов подключено к одному каналу при прочих эквивалентных условиях, тем больше повышается эффективность передачи [Л. 13].

Независимо от рассредоточенности, при передаче команд через общий канал, необходимо передать адрес объекта для его избирания и саму команду (например, включить или выключить). В ряде случаев передача осуществляется несколькими ступенями (выбор группы, объекта, передача самой команды и т. п.).

Передача элементарной команды (включить или выключить) не вызывает затруднений, а количество информации в команде не превышает 1 *дв. ед.*

Технически более сложно закодировать и передать адрес одной из многих команд, т. е. выбрать объект. В адресе обычно содержится значительно большее количество информации, чем в элементарной команде (включить или выключить). Поэтому для многих команд управления скорость передачи информации в основном определяется скоростью передачи адреса объекта.

Для избирания одного из N рассредоточенных или сосредоточенных объектов необходимо передать при-

своенную дешифратору данного объекта комбинацию импульсов частотного, временного или смешанного кода.

Чем больше объектов включено в общий канал связи, тем более сложным должен быть код, т. е. тем большее количество информации должно содержаться в адресе объекта.

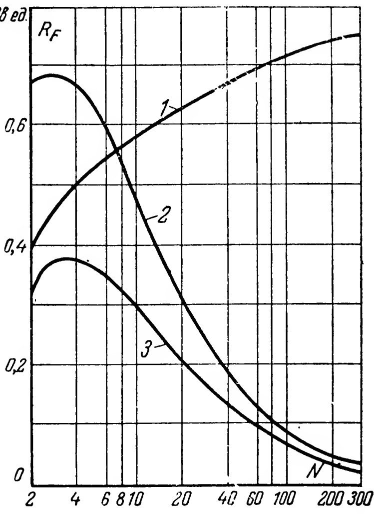


Рис. 14. Зависимость относительной скорости передачи информации R_F от числа объектов избирания N для различных способов избирания при ТУ.
1 — двоичный временной код; *2* — одночастотный; *3* — временной распределительный C_N^1.

С пункта управления одновременно передается обычно одна команда ТУ и только после подтверждения ее приема может передаваться следующая. Поэтому нас будет интересовать передача одного адреса совместно с элементарной командой.

В табл. 1 даны формулы для относительной скорости передачи R_F при передаче несколькими способами адреса и команды «включить» или «выключить», а на рис. 14 — зависимости $R_F = \varphi(N)$, построенные по этим формулам для $k=1$, $s=2$; $k_ч=1{,}5$.

В формулах табл. 1:

N — число объектов избирания;

q — число импульсов в адресной кодовой группе; при двоичном временном коде $N=2^q$;

s — эквивалентное число синхроимпульсов;

k — коэффициент относительной длительности элемента кода, учитывающий искажение прямоугольности импульса при занимаемой в канале связи полосе частот F;

$k_ч$ — коэффициент защитного интервала по частоте ($k_ч > 1$).

Аналогичным способом определяется R_F при одноступенчатой или многоступенчатой передаче адреса и команды, а также при телесигнализации.

Таблица 1

Способ избирания объекта и передачи команды	$R_{F,\text{макс}}$
Временно́й распределительный способ избирания с передачей команды за один цикл (для команды выделяются два импульса)	$\frac{\log 2N}{k(s+N+2)}$
Одночастотный способ избирания. Для команды „включить“ или „выключить“ выделяются две отдельные частоты, одна из них передается одновременно с частотой избирания объекта	$\frac{2\log 2N}{k_ч (N+2)}$
Двоичный временно́й код с передачей команды за один цикл (для команды выделяются два импульса)	$\frac{\log 2N}{k(s+q+2)}$

Для сравнения различных методов телеизмерения по эффективности передачи определяется зависимость $R_F=\varphi(\delta)$, где $\delta=1/2n$ — погрешность телеизмерения, независимо от того, чем она вызвана; n — число возможных различных состояний (градаций).

При кодо-импульсной модуляции (КИМ) за период измерения T передаются синхроимпульсы и q импульсов кодовой группы

$$T=k\tau_ф(s+q),$$

где $\tau_ф=1/2F$ — длительность фронта импульсов;
$k=\tau_и/2\tau_ф$ — коэффициент относительной длительности элемента кода;
$\tau_и$ — длительность неискаженного прямоугольного импульса;
s — относительное число синхроимпульсов.

Относительная скорость передачи при КИМ будет:

$$R_F=-\frac{\log 2\delta}{k(s+q)}.$$

Здесь погрешность δ зависит от типа кода и числа импульсов в кодовой группе. Для двоичного кода $q\geqslant\log n=-\log 2\delta$, тогда

$$R_F\leqslant\frac{q}{k(s+q)}.$$

При $q \gg s$ (число импульсов в кодовой группе $q \gg 1$ или передача без синхроимпульса)

$$R_F = \frac{1}{k} \text{ дв. ед.}$$

На рис. 15 приведены зависимости скорости R_F от погрешности δ, для $k=1$ и $s=2$.

В системах телемеханики большой емкости канал связи в подавляющем большинстве случаев резко недо-

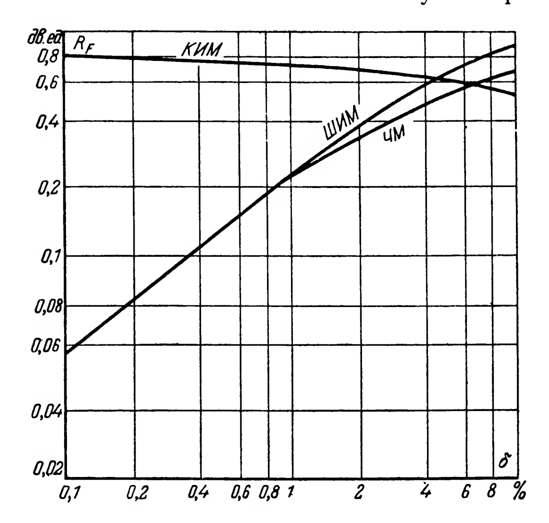


Рис. 15. Зависимость относительной скорости передачи информации R_F от погрешности телеизмерений δ для различных видов модуляции.

гружен и имеет место большая избыточная емкость. Для таких систем минимально допустимый период опроса всех объектов

$$T_0 > kTN = k \frac{\log N}{R_F F} N,$$

где T — время, необходимое для передачи одного сообщения ТУ, ТС или ТИ;

N — суммарное число простейший сообщений ТУ, ТС или ТИ, передаваемых в одном направлении;

k — коэффициент, учитывающий квитирование, запрос повторения и т. п. ($k \approx 2$—3).

Так, для $N=1\,000$, $F=120$ *гц* (телеграфный канал), $R_F=1$ и $k=2$

$$k\frac{\log N}{R_F F}N \simeq 160\ \textit{сек}.$$

Для трубопроводов, нефтепромыслов и многих других промышленных объектов часто допустимо $T_0 \approx \approx 3\,600$ *сек*, т. е.

$$T_0 \gg kTN.$$

При выполнении этого условия для сообщений ТУ, ТС и ТИ целесообразно применять адресные передачи. Более срочные сообщения, такие как аварийный или предупредительный сигнал, команда ТУ и другие, в этом случае передаются с приоритетом (очередность, учитывающая срочность сообщения).

Адресные передачи позволяют резко увеличить простыми средствами достоверность всех сообщений, включая сообщения ТС и ТИ, например, путем применения защитного отказа при возникновении ошибки и запроса повторения передачи.

Одним из целесообразных методов повышения эффективности передачи является статистическое кодирование по множеству сообщений [Л. 4]. Идея статистического кодирования по множеству сообщений для многих объектов та же, что и в известном статистическом кодировании в одном канале, т. е. наиболее часто встречающиеся сообщения передаются короткими кодовыми комбинациями. Отличие состоит в том, что рассматривается не последовательность сообщений одному объекту в одном канале, а совокупность сообщений, передаваемых многим объектам или от многих объектов.

Проиллюстрируем статистическое кодирование по множеству на примере двухпозиционных промышленных объектов.

В табл. 2 записаны сигналы, передаваемые для каждого объекта в виде последовательности нулей и единиц. Будем считать, что единица передается только в дискретные моменты времени, соответствующие включению или выключению объекта. Рассматривая сигналы, передаваемые всем объектам в любой из интервалов времени (т. е. любой столбец), при редкой передаче команд замечаем, что наиболее часто в столбце сигналы состоят из нулей, затем менее часто содержат по одной единице, далее еще реже по две единицы и т. д. Наиболее редко

Таблица 2

Номер объекта	Время					
	T	$2T$	$3T$	$4T$	$5T$	$6T$
1	0	1	0	0	0	0
2	0	0	0	1	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	1	0	0

сигнал будет состоять из одних единиц. Это дает возможность повысить эффективность передачи выбором кодовых комбинаций.

К частному случаю статистического кодирования относится обычная адресная передача, при которой нулевые комбинации, состоящие из одних нулей, не передаются. Комбинация с одной единицей передается кодом длительностью T, который обычно содержит сообщение о номере объекта (адрес) и команду, например, включить (выключить). Комбинация, состоящая из двух единиц, передается путем последовательной передачи двух адресных посылок и соответствующих команд. Время передачи при этом уже $2T$. Комбинация из k единиц передается за время kT.

В отличие от применяемого статистического кодирования, требующего тем большую задержку, чем больше избыточность, при рассматриваемом кодировании задержка больше чем T возникает редко и тем реже, чем больше избыточность.

Описанное статистическое кодирование по множеству может быть усовершенствовано введением очередности по срочности передачи сообщений (аварийный, предупредительный, сигнал ТУ, ТС и т. п.); это уменьшает среднюю допустимую задержку в передаче сообщения.

Легко убедиться, что для большого разнообразия сигналов ТУ, ТС, ТИ, ТР при существенном несовершенстве узкополосных фильтров, имеющих относительно большие защитные межканальные полосы, наибольшая эффективность передачи может быть получена с двоичными кодами. Весьма существенно, что логические схемы для двоичных кодов реализуются наиболее просто, также, например, как всегда проще построить n двоичных ячеек памяти, чем одну ячейку на 2^n состояний.

Как уже отмечалось, в крупных системах необходимо передавать большое количество различных сигналов ТУ,

ТС, ТИ и ТР, для многих КП, включая квитанции повторения, сигнал вызова, аварийные и предупредительные сигналы и т. п. К сигналам предъявляются различные требования по надежности и допускаемому времени задержки. Все это затрудняет передачу сообщений ТС, ТУ, ТИ и ТР как равноценных комбинаций двоичного кода с $N=2^n$.

Целесообразным выходом является применение многоступенчатого избирания. При этом ступени могут быть неодинаковыми как по количеству комбинаций, так и по защищенности кода на каждой ступени, в зависимости от требований к сообщениям по надежности и времени задержки, а также от вероятности передачи данного сообщения.

Суммарное количество разрядов двоичного кода

$$n=n_1+n_2+\ldots+n_m,$$

где n_1, n_2, ..., n_m — количество разрядов соответственно в 1-й, 2-й, ..., m-й ступенях кода.

Общее количество комбинаций кода

$$N=2^{(n_1+n_2+\ldots+n_m)}=\prod_{n_1}^{n_m} 2^{n_i}.$$

Эффективность передачи при многоступенчатых кодах определяется по описанной выше методике.

Интересно провести аналогию между методами повышения эффективности передачи информации управления в технике и биологии.

В живых организмах также используются методы повышения эффективности передачи информации о состоянии внешней среды или внутренних органов, поступающей от периферийных чувствительных органов — рецепторов, а также информации, передаваемой в обратном направлении в виде приказов различным исполнительным органам. Количество рецепторов часто в 20 и больше раз превышает число нервных волокон, выполняющих функции каналов связи, т. е. здесь также используется уплотнение каналов. Кроме того, биологические системы передачи информации являются адаптивными (самоприспосабливающимися к потоку и условиям передачи). Они имеют ограничения по максимально возможной скорости восприятия (переработки) информа-

ции. Поэтому информация более срочная передается с меньшей задержкой, но более грубо по точности, однако она за короткое время дает оценку ситуации. В дальнейшем с большей задержкой передается и воспринимается информация, содержащая большие подробности и детали.

8. ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ ПРИ ФЛУКТУАЦИОННЫХ ПОМЕХАХ

Искажения принимаемого сигнала зависят не только от уровня и характера помех в канале связи, но и от вида модуляции и параметров телепередачи (уровень сигнала, глубина или индекс модуляции, применяемый код, спектр передаваемых частот).

Различают помехоустойчивость метода передачи и помехоустойчивость приемной аппаратуры, реализующей метод приема. В первом случае рассматривается влияние помех при одновременном приеме сигнала и помех без учета схемных решений, которые могут быть выбраны для данного метода передачи. Во втором случае рассматривается реальная помехоустойчивость с учетом схемных решений. Схемные решения могут быть и не оптимальными. Такое разделение позволяет сравнить и выбрать рациональный метод передачи, а уже затем схемное решение.

Для оценки помехоустойчивости методов передачи В. А. Котельников разработал теорию потенциальной помехоустойчивости и показал, что при приеме сигнала со слабыми флуктуационными помехами принципиально существует наилучший приемник, названный им идеальным, который имеет потенциальную (наибольшую) помехоустойчивость для данного метода передачи.

Идеальный приемник В. А. Котельникова характеризует предел помехоустойчивости, который не может быть превзойден при данном методе, т. е. позволяет объективно сравнить различные методы передачи по помехоустойчивости. Кроме того, зная идеальный приемник, можно оценить, насколько реальные приемники приближаются к идеальному. Заметим, что во многих случаях удается создать приемники, незначительно отличающиеся от идеальных, или имеющие потенциальную помехоустойчивость.

Идеальный приемник сравнивает принятый сигнал, искаженный помехами, с неискаженными образцами сиг-

налов, вычисляет разность их энергий и относит принятый сигнал к тому образцу, для которого разность энергий минимальна.

В. А. Котельников показал, что если параметр, изменяющийся в пределах ± 1, передается по каналу с помощью функции $A(\lambda, t)$, то дисперсия ошибки

$$\delta^2 = \frac{\sigma^2}{\frac{1}{2}\int\limits_{-T/2}^{T/2}\left[\frac{\partial A(\lambda, t)}{\partial \lambda}\right]^2 dt},$$

где σ — мощность помех в полосе 1 *гц*;

T — время передачи одного значения параметра.

Применительно к специфике телемеханики потенциальная помехоустойчивость систем с различными видами модуляции систематически изложена в [Л. 3].

Показано, что при слабых помехах преобладает среднеквадратичная ошибка, которая может быть уменьшена расширением полосы частот, занимаемой сигналом, т. е. путем уменьшения эффективности передачи. Наилучшую помехоустойчивость при ограниченном по амплитуде сигнале (т. е. для каналов связи, применяемых в промышленной телемеханике) обеспечивает частотная и частотно-импульсная модуляция. Для одной и той же полосы частот время-импульсная (ВИМ) и широтно-импульсная модуляции (ШИМ) менее помехоустойчивы. При этих видах модуляции ошибка убывает обратно пропорционально квадратному корню из полосы, в то время как при частотной модуляции — обратно пропорционально полосе частот, занимаемой сигналом. Одним из важных результатов теории помехоустойчивости было установление оптимальных соотношений между полосой, занимаемой сигналом, быстродействием системы и ее точностью, при которых помехоустойчивость максимальна [Л. 3].

Методы повышения помехоустойчивости дискретных сообщений разделяются на три основные группы.

1. Методы, использующие избыточную емкость канала путем применения не всех возможных комбинаций кода.

2. Методы, использующие избыточность в передаваемых сообщениях.

3. Методы, использующие обратный канал связи.

В первой группе методов имеются два пути повышения помехоустойчивости. Первый заключается в выборе

таких способов передачи, для которых при заданных ограничениях на сигнал (по амплитуде, средней мощности, длительности и т. п.) обеспечивается меньшая вероятность искажения элементарных сигналов кода, второй — в увеличении корректирующих свойств кодовых комбинаций. Оптимальные способы передачи дискретных сообщений могут быть выбраны при одновременном рассмотрении обоих путей с учетом свойств помех и энергетических характеристик сигнала.

Для простейшей передачи, когда может быть передан только один из двух сигналов — 0 или 1, идеальный приемник В. А. Котельникова вычисляет следующие два интеграла и относит принятый сигнал к тому образцу, для которого разность ΔI_1 или ΔI_2 минимальна

$$\Delta I_1 = \int_0^T [\varkappa(t) - A_1(t)]^2 \, dt;$$

$$\Delta I_2 = \int_0^T [\varkappa(t) - A_2(t)]^2 \, dt,$$

где $A_1(t)$; $A_2(t)$ — функции, соответствующие образцам сигналов;
$\varkappa(t)$ — принимаемый сигнал.

Весьма важным результатом развития первого пути явилось установление высокой помехоустойчивости кодов с большим числом частотных признаков при условии ограниченной амплитуды сигнала (условие выполняется для большинства каналов связи). Наивысшую помехоустойчивость для флуктуационных помех имеет одночастотный код с одновременно передаваемой одной из n частот. Общее число используемых в нем частот n равно числу кодовых комбинаций $N = n$.

Высокая помехоустойчивость частотных кодов физически обусловлена возможностью при той же амплитуде и длительности выбрать для передачи данного сообщения большую энергию в каждом импульсе за счет уменьшения числа импульсов в комбинации и этим резко уменьшить вероятность их искажения. Помехоустойчивость многочастотных кодов при стационарных флуктуационных помехах значительно более высокая, чем у последовательных двоичных кодов с исправлением ошибок, так как помехоустойчивость сильнее зависит от увеличе-

ния энергии сигнала, чем от увеличения корректирующих свойств кода.

На рис. 16 приведена зависимость вероятности искажения сообщения P от величины $\rho = \frac{U_m \sqrt{\tau}}{\sigma}$ для различных кодов, где U_m — амплитуда сигнала в полосе $\Delta f = 1/\tau$; σ — мощность помехи в полосе 1 *гц*.

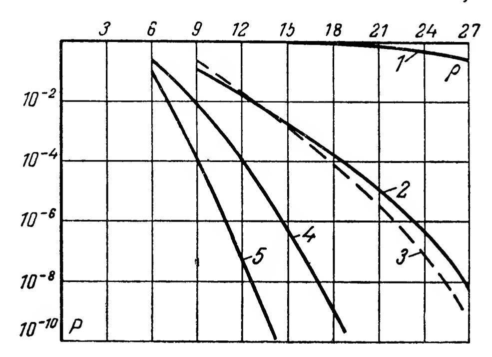


Рис. 16. Зависимость вероятности искажения P от удельного отношения сигнал/помеха $\rho = \frac{U_m \sqrt{\tau}}{\sigma}$ для различных кодов при числе передаваемых команд $N=32$.

1 — распределительный код; *2* — двоичный код на все сочетания; *3* — код Хемминга; *4* — двухчастотный последовательный код; *5* — одночастотный код.

В отличие от описанного выше одночастотного кода, при двухчастотном последовательном коде общее количество комбинаций N равно размещению из m частот по 2: $N = A_m^2$. В каждой комбинации две частоты передаются последовательно.

Из рис. 16 следует, что частотные коды имеют более высокую помехоустойчивость при флуктуационных помехах, чем двоичный код Хэмминга с обнаружением и исправлением ошибок.

В частотных кодах также возможны различные способы обнаружения одной ошибки, например, при защите по числу одновременно передаваемых частот. Такие защиты позволяют уменьшить вероятность образования ложной команды по сравнению с вероятностью подавления команды.

Высокая помехоустойчивость частотных кодов при флуктуационных помехах покупается ценой уменьшения эффективности передачи, что всегда имеет место для использующих для повышения помехоустойчивости избыточную емкость канала.

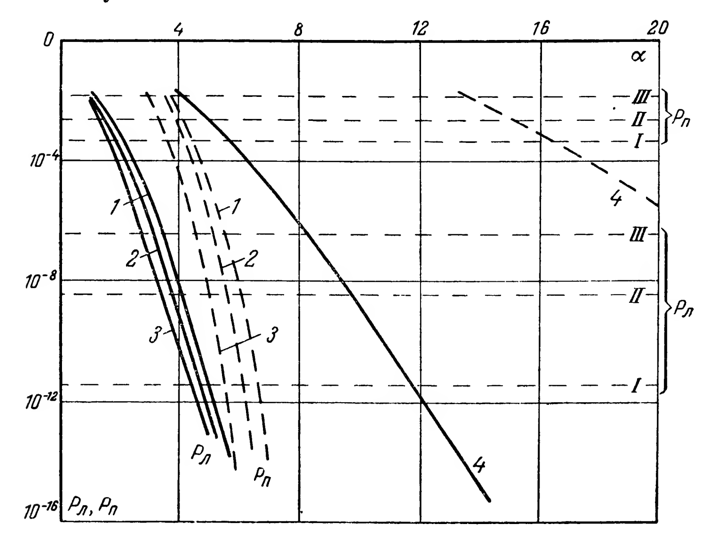


Рис. 17. Зависимость вероятности искажения команды P от обобщенного параметра $\alpha = \frac{U_m \sqrt{\tau}}{\sqrt{2}\sigma_1}$.

На рис. 17 приведены вероятности искажения команды от обобщенного параметра α, характеризующего отношение сигнал—помеха в полосе $\Delta f_{опт} = 1/\tau$ [Л. 5],

$$\alpha = \frac{U_m \sqrt{\tau}}{\sqrt{2}\,\sigma_1},$$

где U_m — амплитуда импульса сигнала;

σ_1 — удельное напряжение помехи.

Зависимости, представленные рис. 17, построены для некоторых кодов, применяемых в системах телемеханики большой емкости при приеме на оптимальный приемник одной из тысячи команд ($N = 1\,000$) для одного и того же времени передачи команды $2T$ и ограниченной полосы частот.

Сплошные линии на рис. 17 соответствуют вероятности ложной команды $P_л$, а пунктирные — вероятности подавления команды $P_п$ при использовании защит для следующих кодов:

1. Двоичный десятиразрядный код на все сочетания $n=10$ $(N=2^{10})$. Комбинация передается на двух часто-

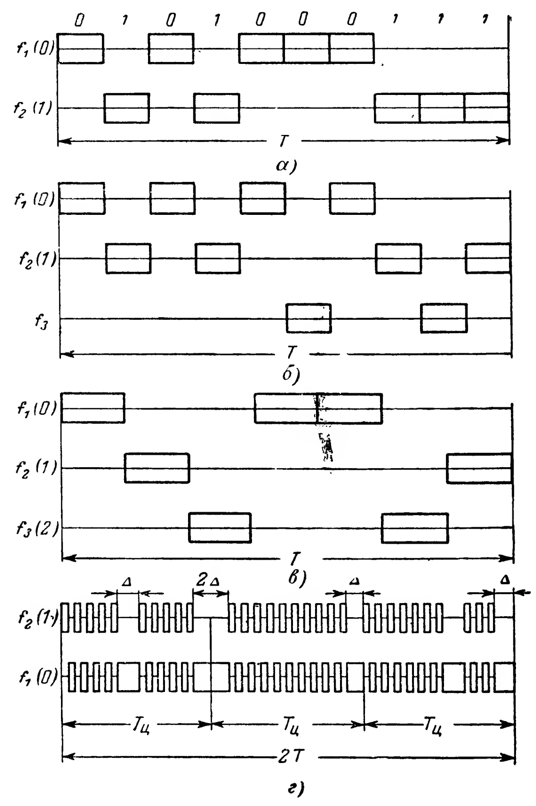


Рис. 18. Временные диаграммы кодовых сигналов.

тах f_1 и f_2 (рис. 18,*а*), а разделение элементарных импульсов производится временными селекторами. Для квитирования такая же комбинация передается по обратному каналу на частотах f_3 и f_4 за время T.

2: Десятиразрядный сменнокачественный код (рис. 18,*б*). Он отличается тем, что если 0 или 1 занимают подряд несколько временных позиций, то импульсы

передаются на разделительной третьей частоте f_3 (рис. 18,*б*). Этот код используется в системе, описанной в гл. 6.

3. Троичный семиразрядный код на все сочетания ($N=3^7\approx 1\,000$). Здесь уменьшение числа временных позиций с 10 до 7 позволяет в $^{10}/_7$ раз увеличить длительность импульсов при одном и том же времени $2T$ передачи кода с квитированием (рис. 18,*в*). Импульсы разделяются так же, как и для двоичного десятиразрядного кода с временны́ми селекторами.

4. Десятичный число-импульсный код с дополнением при передаче единиц, десятков и сотен (три десятичных разряда $N=10^3=1\,000$). Сигналы передаются на двух частотах f_1 и f_2 (рис. 18,*г*). Цифра a каждого десятичного разряда передается равным ей числом импульсов на частоте f_2, затем передается интервал Δ и далее дополняющее до 10 число импульсов $(10-a)$ на той же частоте f_2. На частоте f_1 осуществляется негативная передача. Время передачи десятичного разряда равно $T_ц$. Так, цифра 4 ($a=4$) передается четырьмя импульсами и после интервала продолжительностью Δ следует шесть импульсов на той же частоте f_2. Такой код, используемый в английской системе СЭРК, передается без квитирования, поэтому на рис. 18,*г* время передачи команды в одном направлении принято $2T$.

Пунктирные горизонтальные линии на рис. 17 соответствуют межотраслевым нормам на допустимые $P_л$ и $P_п$ для устройств телемеханики I, II и III категорий.

Как видно из рис. 17, наибольшую помехоустойчивость при флуктуационных помехах имеет троичный код и наименьшую — число-импульсный.

Одним из интересных путей увеличения помехоустойчивости является использование избыточности в самих сообщениях. К простейшим таким методам относится накопление сигнала путем повторных его передач. Этот метод легко реализуется и широко используется при временном разделении элементов сигнала и особенно при визуальном наблюдении, когда функцию интегрирования выполняет человек. При этом накопление вызывает запаздывание, т. е. не вполне рационально используются параметры сигнала.

К наиболее эффективным методам увеличения помехоустойчивости путем использования статистики сообщений относится статистическое кодирование по множест-

ву [Л. 4], которое в частном случае сводится к многоступенчатым адресным передачам и описано в § 7.

Система телемеханики в большинстве случаев имеет как прямой, так и обратный канал связи. Установлено, что в области малых вероятностей ошибок код с автоматическим запросом повторения имеет значительно более высокую помехоустойчивость по сравнению с кодами с обнаружением одной или двух ошибок и кодом с исправлением одной ошибки.

Из приведенного выше анализа следует, что повышение помехоустойчивости при флуктуационных помехах и ограниченной амплитуде сигнала достигается главным образом, увеличением энергии элементарных импульсных посылок кода. При ограниченном времени передачи комбинации кода это достигается путем уменьшения числа элементарных импульсов, из которых состоит каждая кодовая комбинация. Естественно поэтому, что наибольшую помехоустойчивость имеет одночастотный код C_n^1, далее двухчастотный код на размещение A_n^2 и т. д.

9. ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ ПРИ ИМПУЛЬСНЫХ ПОМЕХАХ

Помехоустойчивость устройств телемеханики и связи существенно зависит от характера помех. Для одиночных импульсных помех разработан ряд простых и эффективных методов борьбы. К ним относятся метод ШОУ, применение кодов с защитой на четное количество избирающих импульсов, если за время кодовой комбинации на базе кода возникает не больше одного импульса помехи и др.

Борьба с помехами усложняется с возрастанием числа импульсов помех на базе кода. При ограниченном, небольшом числе импульсов помех на базе кода хорошие результаты могут дать корректирующие коды с исправлением ошибок.

Однако в магистральных проводных и радиоканалах, как уже отмечалось в этой главе, значительный удельный вес имеют групповые импульсные помехи, при которых продолжительность плохого состояния канала связи часто превышает длительность одной кодовой комбинации. Корректирующие коды с исправлением ошибок при этом нерациональны из-за необходимости вводить большую постоянную избыточность для исправления многих ошибок на базе кода.

В реальных каналах среднее время «хорошего» состояния канала во много раз больше пребывания канала «в плохом» состоянии, поэтому большая избыточность корректирующего кода необходима только в редких случаях «плохого» состояния канала. В остальное время большая избыточность корректирующего кода не нужна. Это приводит к увеличению помехоустойчивости излишне дорогой ценой и к нерациональным решениям, особенно если учесть, что реализация большой избыточности связана с резким усложнением аппаратуры.

Значительно лучшие результаты при групповых импульсных помехах дают методы обнаружения ошибок с обратным каналом для запроса повторения передачи. В этом случае код может иметь сравнительно небольшую среднюю избыточность, достаточную для обнаружения ошибки. Во время «хорошего» состояния канала телемеханические сигналы передаются без переспроса. Однако одиночные или групповые ошибки вызывают повторение передачи. Замедление скорости передачи сообщений при этом тем больше, чем хуже состояние канала, т. е. чем меньше его пропускная способность из-за наличия помех. Следовательно, такой способ передачи обладает свойством адаптации — приспособления к состоянию канала связи. Ограничимся рассмотрением помехоустойчивости способов передачи с обратным каналом, представляющих наибольший интерес для устройств телемеханики большой емкости.

Для нас достаточно рассмотреть коды с основанием 2, алфавит которых состоит только из 0 и 1. Такие коды, как уже отмечалось, проще реализуются и в настоящее время представляют наибольший интерес для сложных систем телемеханики. Выбор способа избирания для таких кодов сводится к выбору способа комбинирования двух элементов сигнала, способу обнаружения и исправления ошибок.

Способ передачи элементов сигнала (0 и 1) в стандартных каналах для передачи дискретной информации обычно задан, поэтому действие помех задается статистическими характеристиками искажений элементов сигнала, которые часто называются ошибками. Характеристики потока ошибок определяются на основе экспериментальных исследований реальных каналов связи. Существует несколько математических моделей потока ошибок, описывающих распределение ошибок в реаль-

ных каналах. В этих моделях предполагается, что канал может находиться в двух состояниях — «хорошем» и «плохом» с определенными законами появления начал и длительностей этих состояний. Для реальных каналов «хорошее» состояние характеризуется вероятностью ошибок $P_1 = 10^{-4} \div 10^{-5}$, в то время как «плохое» — вероятностью ошибки $P_1 = 0{,}1 \div 0{,}5$. В приведенных ниже расчетах, выполненных в [Л. 30], принята упрощенная модель ошибок.

Принято также следующее допущение: длительность, «плохого» состояния канала превышает длительность кодовой комбинации. Это условие для адресной передачи сигналов ТУ, ТС, ТИ во многих случаях выполняется. Оно позволяет упростить анализ путем применения минимаксного критерия оценки способов кодирования.

По минимаксному критерию код оценивается по наихудшему значению вероятности возникновения необнаруженной ошибки при соответствующем ему значении вероятности ошибки одного элементарного сигнала P_1. Естественно, что этот критерий применим только для кодов, имеющих экстремум с наихудшей вероятностью ошибки (см., например, рис. 20). Такими свойствами обладают коды с избыточностью не меньше определенной величины. Для любой вероятности искажения элементарного сигнала они обеспечивают сравнительно малую вероятность необнаруженной ошибки. Это свойство особенно ценно в системах телемеханики с обратным каналом.

К таким кодам относятся коды C_n^m с защитой по постоянному числу единиц, коды с прямым или зеркальным повторением и защитой по идентичности всех элементарных посылок, коды с комбинацией этих защит и др. Максимум вероятности необнаруженной ошибки в этих кодах может быть уменьшен ценой увеличения избыточности кода η, равной отношению

$$\eta = \frac{n}{\log_2 N},$$

где n — число импульсов в кодовой комбинации;
N — число информационных кодовых комбинаций, равное числу сообщений.

Вероятности различных ошибок для кодов с избыточностью определяются при следующих ограничениях:

1. Рассматривается двоичный симметричный канал, т. е. принимается равноценность перехода 1 в 0 и 0 в 1.

2. Вероятность ошибки P_1 в течение длительности кодовой комбинации постоянна $P_1 = \text{const}$, а ошибки при этом независимы.

3. Идеальная синхронизация, и приемник знает начало кодовой комбинации, т. е. передача синхроимпульсов не учитывается.

4. Ошибки в различных параллельно действующих двоичных каналах независимы (например, в различных телеграфных каналах).

Помехоустойчивость кодов определяется в двух режимах: в режиме передачи кодовой комбинации и в режиме ожидания, когда кодовые комбинации не передаются.

Для оценки искажений в режиме передачи кодовой комбинации будем рассматривать:

$P_{пр}$ — вероятность правильной передачи кодовой комбинации, т. е. правильной передачи сообщения;

$P_{тр}$ — вероятность трансформации одной кодовой комбинации в любую другую информационную кодовую комбинацию, это эквивалентно трансформации одного сообщения в другое;

$P_{под}$ — вероятность перехода информационной кодовой комбинации в неинформационную кодовую комбинацию, это эквивалентно подавлению передаваемого сообщения.

Все эти вероятности образуют полную группу несовместимых событий, следовательно

$$P_{пр} + P_{тр} + P_{под} = 1.$$

В режиме ожидания возможно только одно из двух событий — правильная передача отсутствия сообщения с вероятностью $P'_{пр}$ или ложный прием одной из информационных кодовых комбинаций с вероятностью $P_л$, поэтому

$$P'_{пр} + P_л = 1.$$

Число сообщений обозначим N, а число возможных комбинаций в коде M. Для избыточного кода $M > N$.

Пронумеруем информационные кодовые комбинации от 1 до N, а оставшиеся кодовые комбинации — от $N+1$ до M — будем называть неинформационными. Нулевой сигнал будет соответствовать отсутствию сообщения.

Тогда вероятность правильной передачи любой кодовой комбинации из n символов некорректирующего кода

$$P_{\text{пр}} = 1 - (1 - P_1)^n.$$

Средняя вероятность трансформации будет:

$$\overline{P}_{\text{тр}} = \sum_{i=1}^{N} P_i \sum_{j=1}^{N} \delta_{ij} P_{ij},$$

где $\delta = \begin{cases} 0 \text{ при } j = i, \\ 1 \text{ при } j \neq i; \end{cases}$

P_{ij} — переходная вероятность из состояния i в j.

Средняя вероятность подавления

$$\overline{P}_{\text{под}} = \sum_{i=1}^{N} P_i \left[\sum_{j=N+1}^{M} P_{ij} + P_{i0} \right],$$

где P_{i0} — переходная вероятность из состояния i в состояние ожидания (0). $P_{\text{под}}$ может быть также вычислена по формуле

$$\overline{P}_{\text{под}} = 1 - \overline{P}_{\text{тр}} - P_{\text{пр}}.$$

Вероятность любого ложного сообщения в режиме ожидания

$$\overline{P}_{\text{л}} = \sum_{i=1} P_{0i}.$$

Определим $\overline{P}_{\text{тр}}$, $\overline{P}_{\text{под}}$, $\overline{P}_{\text{л}}$ для некоторых кодов и способов передачи.

1. *Код с двукратным повторением и защитой по идентичности каждой элементарной посылки* ($\eta = 2$)

$$n = 2\{[\log_2 N] + 1\} = 2n_0,$$

$$n_0 = [\log_2 N] + 1;$$

здесь квадратные скобки означают, что берется целая часть числа.

$$P_{\text{пр}} = (1 - P_1)^{2n_0}.$$

Трансформация происходит, если при первой и повторной передачах искажаются символы на одинаковых позициях, причем $\overline{P}_{\text{тр}}$ одинаково для всех комбинаций

$$\overline{P}_{\text{тр}} = \sum_{i=1}^{n_0} C_{2n_0}^{i} P_1^{2i} (1 - P_1)^{2n_0 - 2i};$$

$$\overline{P}_{\text{под}} = 1 - P_{\text{пр}} - \overline{P}_{\text{тр}}.$$

Аналогично $\overline{P}_{\text{тр}}$ получим:

$$\overline{P}_{\text{л}} = \sum_{i=1}^{n_0} C_{2n_0}^{i} P_1^{2i} (1 - P_1)^{2n_0 - 2i}.$$

2. *Двоичный код с защитой на четность.* Для передачи N сообщений длина кода n должна быть

$$n = [\log_2 N] + 2 = n_0 + 1;$$

$$P_{\text{пр}} = (1 - P_1)^{n_0 + 1};$$

$$\overline{P}_{\text{тр}} = \sum_{i=1}^{\left[\frac{n_0+1}{2}\right]} C_{n_0+1}^{2i} P_1^{2i} (1 - P_1)^{n_0 + 1 - 2i};$$

$$\overline{P}_{\text{под}} = 1 - \overline{P}_{\text{тр}} - P_{\text{пр}}.$$

Сравнение кодов по помехоустойчивости выполнено для $N = 1\,000$, что соответствует уже крупной системе телемеханики. Результаты расчетов по описанной выше методике приведены на графиках рис. 19 и 20.

Из рис. 19 и 20, а также из приведенных формул следует, что вероятность подавления $\overline{P}_{\text{под}}$ значительно больше вероятностей трансформации $\overline{P}_{\text{тр}}$ и вероятности ложного сигнала $\overline{P}_{\text{л}}$. При этом $\overline{P}_{\text{под}}$ относится к обнаруживаемым ошибкам. Обнаружение ошибки в системе с обратным каналом используется для переспроса. Для «хорошего» состояния канала ($P_1 \ll 1$) и достаточно большого числа переспросов в таких системах величина $\overline{P}_{\text{под}}$ (обнаруживаемая ошибка) уменьшается до величины, сравнимой или даже меньшей $\overline{P}_{\text{тр}}$. Во время «плохого» состояния канала система может работать все время в режиме переспроса и практически не передает информацию. Однако время пребывания канала в «плохом» состоянии обычно во много раз меньше среднего време-

ни пребывания канала в «хорошем» состоянии, поэтому методы обратного канала дают хорошие результаты по помехоустойчивости и эффективности использования канала.

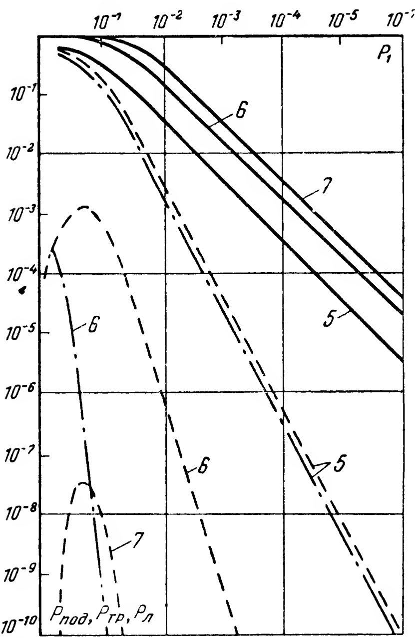


Рис. 19. Средние вероятности подавления $\overline{P}_{под}$ (сплошная линия), трансформации $\overline{P}_{тр}$ (пунктир) и ложной команды $\overline{P}_{л}$ (штрих-пунктир) в зависимости от вероятности искажения элементарного сигнала P_1.

5 — двоичный код с защитой на четность; 6 — двоичный код с защитой на четность и зеркальным повторением; 7 — двоичный код с защитой на четность и двойным зеркальным повторением.

Значительно хуже обстоит дело с ошибками трансформации и возникновения ложного сигнала. Эти ошибки часто не обнаруживаются при передаче, поэтому необходимо применять коды с достаточно малыми $\overline{P}_{тр}$ и $\overline{P}_{л}$, чтобы вероятность необнаруженной ошибки была не меньше заданной величины при любом состоянии канала. Выполнение такого условия особенно важно для весьма ответственных сигналов ТУ, ТС, ТИ.

Большинство способов передачи, приведенных на рис. 19 и 20, имеют максимум $P_{тр.макс}$ и $P_{л.макс}$ при определенном состоянии канала (определенной вероятности P_1). Величины $P_{тр.макс}$ и $P_{л.макс}$ используются для сравнения кодов по минимаксному критерию.

В общем случае при увеличении избыточности кода величины $P_{тр.макс}$ и $P_{л.макс}$ уменьшаются. Для кодов с малой избыточностью максимум $\overline{P}_{тр}$ и $\overline{P}_{л}$ может отсутствовать. Так, на рис. 19 нет максимума $\overline{P}_{тр}$ и $\overline{P}_{л}$ у кода с защитой на четность при однократной передаче.

С целью сравнения различных кодов по помехоустойчивости на основе минимаксного критерия на рис. 21 приведены значения $P_{тр.макс}$ для различных кодов и спо-

собов передачи при $N=1\,000$. Здесь же даны значения коэффициента избыточности η для этих кодов и способов передачи. Рисунок 21 показывает, какой ценой избыточ-

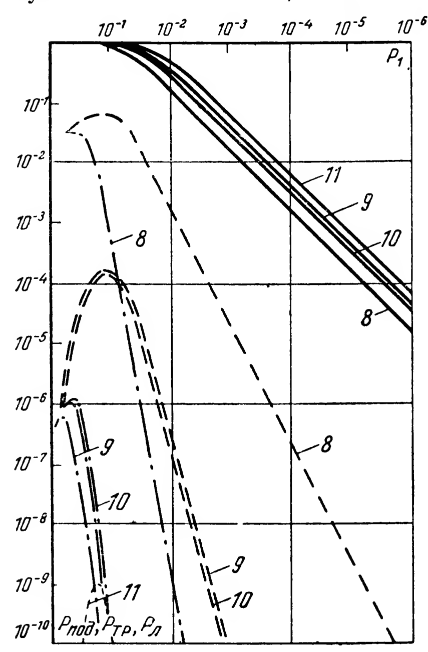


Рис. 20. Средние вероятности подавления $\overline{P}_{под}$ (сплошная линия), трансформации $\overline{P}_{тр}$ (пунктир) и ложной команды $\overline{P}_л$ (штрих-пунктир) в зависимости от вероятности искажения элементарного сигнала P_1.

8 — трехразрядный десятичный код с кодированием каждой десятичной цифры комбинациями C_5^2; *9* — трехразрядный десятичный код с кодированием каждой десятичной цифры комбинациями C_5^2 и с зеркальным повторением; *10* — то же, но с простым повторением; *11* — то же, но с двойным зеркальным повторением.

ности достигается повышение $P_{тр.макс}$, и позволяет оценить целесообразность применения различных способов передачи.

Следует учитывать, что $P_{тр.макс}$ почти всегда имеет место при значении P_1, близком к 0,1.

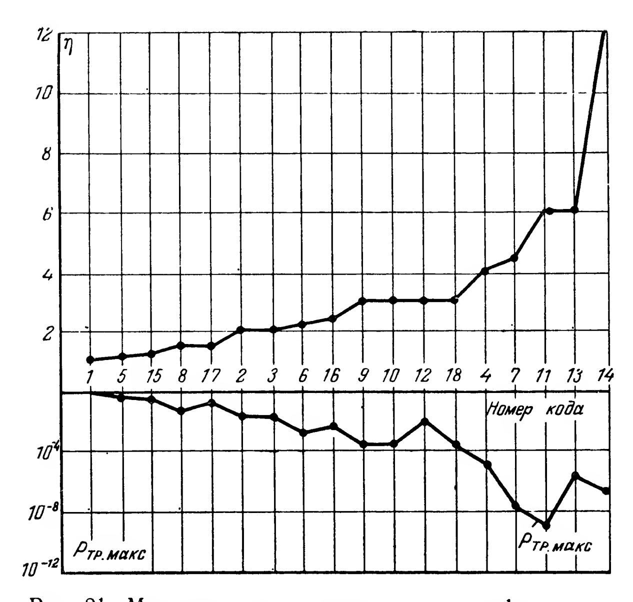


Рис. 21. Максимальная вероятность трансформации $P_{тр.макс}$ для различных кодов и способов передачи.

1 — двоичный неизбыточный код; *2* — двоичный неизбыточный код с зеркальным повторением; *3* — двоичный неизбыточный код с повторением; *4* — двоичный неизбыточный код с двойным зеркальным повторением; *6* — двоичный код с защитой на четность и зеркальным повторением; *7* — двоичный код с защитой на четность и двойным зеркальным повторением; *8* — трехразрядный десятичный код с кодированием каждой десятичной цифры комбинацией C_5^2; *9* — трехразрядный десятичный код с кодированием каждой десятичной цифры комбинацией C_5^2 и зеркальным повторением; *10* — трехразрядный десятичный код с кодированием каждой десятичной цифры комбинацией C_5^2 и повторением; *11* — трехразрядный десятичный код с кодированием каждой десятичной цифры комбинацией C_5^2 и двойным зеркальным повторением; *12* — трехразрядный десятичный код с кодированием каждой десятичной цифры кодом C_{10}^1; *13* — трехразрядный десятичный код с кодированием каждой десятичной цифры кодом C_{10}^1 и зеркальным повторением; *14* — трехразрядный десятичный код с кодированием каждой десятичной цифры кодом C_{10}^1 и двойным зеркальным повторением; *15* — двоично-десятичный код с кодированием каждой десятичной цифры двоичным кодом с весами кодовых комбинаций 2-4-2-1; *16* — двоично-десятичный код с кодированием каждой десятичной цифры двоичным кодом с весами кодовых комбинаций 2-4-2-1 и зеркальным повторением; *17* — двоично-десятичный код с кодированием каждой десятичной цифры двоичным кодом с весами кодовых комбинаций 2-4-2-1 и защитой на четность каждой кодовой комбинации, соответствующей десятичной цифре; *18* — двоично-десятичный код с кодированием каждой десятичной цифры двоичным кодом с весами кодовых комбинаций 2-4-2-1 и зеркальным повторением.

Таблица 3

№ кода	$\overline{P}_{тр}$ при $P_1=10^{-4}$ и $N=1\,000$	Название кода и способ передачи
1	10^{-3}	Двоичный неизбыточный код
15	$7\cdot10^{-4}$	Двоично-десятичный код с кодированием каждой десятичной цифры двоичным кодом с весами кодовых комбинаций 2—4—2—1
5	$5,5\cdot10^{-7}$	Двоичный код с защитой на четность
12	$2,7\cdot10^{-7}$	Трехразрядный десятичный код с кодированием каждой десятичной цифры кодом C_{10}^{1}
8	$1,8\cdot10^{-7}$	Трехразрядный десятичный код с кодированием каждой десятичной цифры кодом C_5^2
17	$1,7\cdot10^{-7}$	Двоично-десятичный код с кодированием каждой десятичной цифры двоичным кодом с весами кодовых комбинаций 2—4—2—1 и защитой на четность каждой комбинации, соответствующей десятичной цифре
16	$7\cdot10^{-8}$	Двоично-десятичной код с кодированием каждой десятичной цифры двоичным кодом с весами кодовых комбинаций 2—4—2—1 и зеркальным повторением
2	10^{-7}	Двоичный неизбыточный код с зеркальным повторением
3	10^{-7}	Двоичный неизбыточный код с повторением

В реальных магистральных каналах связи среднее значение $\overline{P}_1\approx10^{-4}$, а следовательно реальная величина

$$\overline{P}_{тр}\ll P_{тр.макс}.$$

В связи с этим табл. 3 приведены $\overline{P}_{тр}$ для нескольких способов передачи, вычисленные при условии независимости ошибок и $P_1=10^{-4}$. Для других способов передачи, представленных на рис. 21, величина $\overline{P}_{тр}<10^{-10}$.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

ПРИМЕРЫ СИСТЕМ ТЕЛЕМЕХАНИКИ С БОЛЬШОЙ ЕМКОСТЬЮ

10. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМ

Многоступенчатое управление с использованием средств телемеханики применяется в течение многих лет и энергосистемах. Однако здесь устройства телемеханики разрабатывались не как единое целое с многоступенчатой системой управления. Такая целесообразность, по-

видимому, была еще не осознана. Только в последнее время в энергосистемах возникает потребность в крупных комплексных системах телемеханики ТУ, ТС, ТИ, рассчитанных на подключение ряда КП к общему каналу связи и имеющих цифровую индикацию и цифропечатание.

Системы телемеханики большой емкости для крупных производственных комплексов, разработанные как единое целое с системой управления, были впервые созданы для магистральных нефтепроводов, продуктопроводов и газопроводов. В последние годы такие системы начинают широко внедряться. Так, если в 1956 г. применение автоматизации и телемеханизации на трубопроводах в США было весьма незначительным, то в 1960 г. автоматическое и телемеханическое управление было внедрено на 37% трубопроводных фирм. Примерно каждый третий трубопровод уже в 1960 г. был телемеханизирован. В 1965 г. в США телемеханизировано больше 50% трубопроводов.

В СССР широкое развитие трубопроводного транспорта и его автоматизация начались несколько позже. В связи с этим первые крупные системы телемеханики у нас были созданы на железнодорожном транспорте и в нефтедобыче. Так, самая крупная по объему сигналов ТУ, ТС система типа ЭСТ-62 была разработана для телемеханизации объектов на электрифицированных железных дорогах. Описание этой системы приведено в данной главе.

Но наибольший опыт в создании систем телемеханики большой емкости накоплен на трубопроводном транспорте, поэтому приведем данные о системах телемеханики в этой отрасли.

Автоматизацией и телемеханизацией трубопроводного транспорта в США занимается 28 научно-исследовательских и конструкторских организаций. Ежегодно в этой области публикуется сотни работ, а их подробная характеристика дана, например, в обзоре [Л. 6].

При создании системы управления магистральным трубопроводом он рассматривается как единый комплекс. Диспетчер или машина, управляющие трубопроводом, должны иметь основные параметры по всем насосным станциям и потребителям нефти или нефтепродукта. Для представления масштабов сооружений нефтепроводов приведем следующие данные.

Запас энергии в нефти, перекачиваемой за сутки крупным магистральным трубопроводом, часто значительно превышает энергию, вырабатываемую за сутки самой крупной электростанцией, а суммарная мощность насосов всех насосных станций на крупном трубопроводе соизмерима с мощностью крупной электростанции.

В табл. 4 приведены основные данные для телемеханизированных магистральных трубопроводов, оборудованных бесконтактными устройствами телемеханики.

Единый центральный диспетчерский пункт на каждом из этих трубопроводов оборудован цифропечатающими машинами и имеет высокую степень автоматизации.

Суммарная мощность насосной станции магистрального трубопровода порядка десятков тысяч киловатт, поэтому станция сама является сравнительно крупным сооружением. Автоматизированная насосная станция оснащена устройствами защиты, программного управления, автоматического регулирования, контроля и телемеханического управления. Она обычно рассматривается как объект с замкнутой системой автоматического регулирования. Защита насосных агрегатов с центробежными насосами и электродвигателями (получивших широкое применение) производится по следующим основным параметрам:

1) температура подшипников двигателей и насосов; 2) температура корпуса насоса; 3) температура обмотки электродвигателя; 4) обнаружение течи в сальниковых уплотнениях; 5) вибрация выше допустимого предела; 6) возникновение кавитационного режима; 7) минимально допустимое давление на входе; 8) превышение максимально допустимого давления на выходе; 9) температура смазки насоса; 10) уровень смазки насоса; 11) расход смазки насоса.

Пуск автоматизированной насосной станции обычно производится по программе, состоящей из десятков последовательно выполняемых операций.

Автоматическое регулирование на насосных станциях осуществляется различными способами. В последнее время наметилась тенденция применения систем автоматического регулирования мощности станции с автономным местным управлением. При этом с ЦДП периодически задается уровень мощности насосной станции (уставка). Такая система имеет более высокую надежность, не требует непрерывной связи с ЦДП и продол-

Таблица 4

Трубопровод, протяженность, фирма	Способ передачи ТУ, ТС, ТИ	Линия связи	Перечень операций ТУ, ТС, ТИ	Примечание
Калифорния, США, 992 *км*	ТУ—ТС частотный на 25 КП, ТИ—кодо-импульсный	Радиорелейная (13 каналов по 1 на станцию)	Давление на входе и выходе, степень открытия основных задвижек, пуск и остановка насосных агрегатов	Управление 13 насосными станциями одним диспетчером. Все данные запоминаются на мнемосхеме
Филадельфия — Кливленд США, 3 700 *км* „Laurel pipe Zine Co".	ТУ—ТС частотно-импульсный, ТИ кодо-импульсный	УКВ и проводная	Давление на входе и выходе, температура продукта, расход, аварийная сигнализация и др.	Работает с ЦВМ и есть возможность составлять программу для трубопровода по запросам потребителя
„Four Corners Zine inc," США, 1 270 *км*	ТУ—ТС частотно-импульсный, ТИ время-импульсный и кодо-импульсный	Радиорелейная (35 каналов для уплотнения в полосе 300—30 000 *гц*)	Давление на входе и выходе, расход, плотность	
„Glacier pipe Line," США, 805 *км*	ТУ—ТС кодо-импульсный, ТИ кодо-импульсный	Два телефонных канала	На 12 КП суммарный объем ТИ: давление 37, плотность 10, расход 12, уровень 37	
„Dixil pipe Line Co". США, 1 770 *км*	ТУ—ТС кодо-импульсный, ТИ кодо-импульсный	Телефонный канал		
Лонгвью—Лайма 1 467 *км* США	ТУ—ТС кодо-импульсный, ТИ кодо-импульсный	Радио-релейная	ТУ агрегатами и задвижками, ТС—проверка состояния, ТИ— уровня, температуры, плотности, расхода, давления	Данные ТИ от 14 насосных станций преобразуются в аналоговую форму и поступают на вычислительную машину ИБМ
Нефтепровод „Mid America", 2 712 *км*	ТУ—ТС кодо-импульсный, ТИ кодо-импульсный	Три группы по два телеграфных канала		В управлении нефтепроводом большую роль выполняет местная автоматика. Запоминающие и приемные устройства выполнены на релейных элементах
„Texac Eastern Transmission Corp"	ТУ—ТС кодо-импульсный, ТИ кодо-импульсный	Радиорелейная линия длиной 1 900 *км* с 58 ретрансляционными станциями	ТС—предупредительная сигнализация состояния, ТИ—расход давления, ТУ—управление программой	Данные на ДП только записываются (цифропечать)

Таблица 5

Этап автоматизации	Степень автоматизации, %	Объем автоматизации
0	0	Автоматизация отсутствует
1	10	Автоматизация отдельных операций на насосных станциях: регулирование давления; защита; автоматизация приводов
2	30	Полуавтоматическое управление насосной станцией. Автоматическое управление последовательностью операций; в резервуарном парке; при пуске насосов; при пуске вспомогательного оборудования
3	40	Сбор и передача информации ТИ, ТС, телеуправление насосными станциями, конечными пунктами
4	70	Комплексное телеуправление с частичным использованием средств вычислительной техники: *1* — обработка данных; *2*—устройства—советчики
5	100	Автоматическое управление всем трубопроводом с использованием вычислительных машин, включая диспетчеризацию; управление; учет

жает поддерживать ранее заданный режим даже при повреждении канала связи.

Степень автоматизации и телемеханизации магистральных трубопроводов может изменяться в широких пределах. Различают этапы автоматизации, представленные в табл. 5.

Применение цифровых вычислительных машин считается целесообразным для выполнения следующих задач:

1. Составление планов эксплуатации трубопровода.

2. Планирование времени прохождения партий перекачиваемых нефтепродуктов. Так, одна из компаний США имеет разветвленную сеть трубопроводов и переключает до 98 сортов нефтепродуктов с помощью многих десятков насосных станций.

3. Расчет оптимальных расходов для выполнения плана работы трубопровода.

4. Составление отчетов о товарных и оперативных запасах нефтепродуктов в трубопроводной системе.

5. Бухгалтерский учет и расчет по заработной плате. Составление калькуляций эксплуатационных расходов и прибылей, а также прогнозов о необходимости увеличения пропускной способности трубопровода в будущем.

6. Экономические изыскания с целью определения целесообразности сооружения ответвлений или распределительных нефтебаз вдоль трубопровода.

Трубопроводные фирмы часто устанавливают одну универсальную ЦВМ для нескольких соседних трубопроводов. Вместе с тем наметилась тенденция применения комбинированной системы управления трубопроводом с установкой даже на насосных станциях местных электронных вычислительных машин, выводящих станцию на оптимальный режим, а на диспетчерском пункте — универсальной ЦВМ. Такое построение сокращает объем информации, передаваемой на ЦДП, и повышает надежность всей системы управления, так как отпадает необходимость поддерживать непрерывную связь ЦВМ со станциями, а надежность каналов связи не оказывает решающего влияния на работу всего комплекса.

Современная система телемеханики для трубопроводов должна быть рассчитана на передачу всего объема информации ТУ, ТС, ТИ, необходимого для управления трубопроводом, при условии максимального использования средств местной автоматики. Объем информации ТУ, ТС, ТИ вначале был, как правило, завышен из-за слабо развитой местной автоматики. С расширением функций устройств местной автоматики объем передаваемой информации ТУ, ТС, ТИ сокращается. Одновременно резко повышаются требования к достоверности передачи не только информации ТУ, но и информации ТС, ТИ. Это обусловлено применением цифропечатания и вводом информации в ЦВМ. Резкое повышение достоверности всех отдельных сообщений ТУ, ТС и ТИ стало возможно только с переходом к дискретным методам адресной передачи и применением кодов с обнаружением ошибок, с автоматическим переспросом при возникновении ошибок и т. д. Так, во всех системах телемеханики на трубопроводах, данные о которых сведены в табл. 4, используются коды с обнаружением ошибок.

Высокая аппаратурная надежность обеспечивается применением бесконтактных устройств телемеханики на основе блочных унифицированных транзисторных элементов и схем с печатным монтажом.

Интересны данные, приводимые в обзорах по автоматизации и телемеханизации трубопроводного транспорта. Согласно этим данным, примерно в 19% систем телеуправления используются частотные и частотно-ком-

Таблица 6

Тип, разработчик и год разработки	Основное назначение	Количество КП (макс.)	Число объектов на КП (макс.)			Способ передачи ТУ, ТС, ТИ	Канал связи	Примечание
			ТУ	ТС	ТИ			
ЭСТ-62, ЦНИИ МПС, 1962	Объекты электрифицированных железных дорог	15	68	121		ТУ—распределительный, ТС—частотно-распределительный (для каждого КП отдельный подканал)	Телефонный проводной или радио	Цифропечатания нет
СТМК, Реле и автоматика	Трубопроводы	8 16	32 16	32 16	154 72	ТУ—ТС кодо-импульсный, ТИ кодо-импульсный	Телефонный	
НИПИнефтехимавтомат, ИАТ и ВНИИКАнефтегаз, 1965	То же	16 (ЦДП)	12	39	12	ТУ—ТС кодо-импульсный, ТИ кодо-импульсный	3 телеграфных канала	
		16 (РДП)	2	4	1	ТУ—ТС-частотно-временной, ТИ время-импульсный	Телефонный	
Марафон, Центральная компания беспроволочного телеграфа (Франция)	Универсальная	6	21	52	9	ТУ—ТС кодо-импульсный, ТИ кодо-импульсный	Телефонный или телеграфный	
СЭРК-1АЗ (Англия) 1963	Трубопроводы	11	30	39	10	ТУ—ТС кодо-импульсный, ТИ кодо-импульсный	Телефонный	
Эллиот (Англия)	Универсальная	16	64 48 32 16	132 84 36 0	64 48 32 16	ТУ—ТС кодо-импульсный, ТИ кодо-импульсный	Телефонный	
Ф-200 фирмы АЭГ (ФРГ)	То же	56 28 14	14 28 56	17 34 68	4 8 16	ТУ—ТС кодо-импульсный, ТИ кодо-импульсный	Телефонный или телеграфный	

бинационные методы передачи, а во всех других системах — кодо-импульсные методы с временным разделением сигналов (81%).

Наблюдается все более массовое применение кодоимпульсных устройств телеизмерений, которые вытесняют все другие устройства на трубопроводном транспорте. Ожидается, что в 1965 г. относительное количество кодо-импульсных устройств телеизмерений в США возрастет до 95%. Кодо-импульсные методы имеют наибольшие преимущества в случаях, когда число контролируемых параметров велико. Примерно половина всех систем телемеханики имеет периодический опрос контролируемых пунктов с жестким интервалом, равным 1 *ч*. В 20% систем период опроса может изменяться ступенями через 15 *мин*.

Применение автоматической регистрации данных в цифровом виде облегчает работу диспетчера и создает условия для постепенной замены обслуживающего персонала вычислительной техникой.

Требования заказчиков к конструкциям аппаратуры телемеханики по существу единые. Конструкции должны быть блочными, взаимно заменяемыми, стандартизированными и унифицированными. Это приводит к тому, что все устройства одной системы сводятся к ряду унифицированных блоков, состоящих из набора типовых печатных схем. Предъявляются требования легкости монтажа, демонтажа и ремонта аппаратуры.

Приведенные выше данные и характеристики иллюстрируют тенденции развития крупных систем телемеханики. Потребность в системах телемеханики примерно с такими же показателями возникает все больше и в других отраслях народного хозяйства. В связи с этим ниже описаны характерные типы систем телемеханики большой емкости, разработанные в СССР и за рубежом, а в табл. 6 приведены основные данные ряда таких систем телемеханизации.

11. СИСТЕМА ЭСТ-62

Система типа ЭСТ-62 (электронная система телемеханики 1962 г.) разработана Всесоюзным научно-исследовательским институтом железнодорожного транспорта (ВНИИ ж. д.) для телемеханизации устройств энергоснабжения на электрифицированных железных дорогах [Л. 20]. Она является усовершенствованным вариантом

более ранних разработок ВНИИ ж. д. типа БСТ-59 и БРТ-60. К концу 1965 г. аппаратурой всех этих типов телемеханизировано примерно 10 тыс. *км* магистральных электрифицированных железных дорог с наибольшей пропускной способностью. Такие масштабы внедрения следует отнести к крупным достижениям в области автоматизации.

Широкое внедрение устройств телемеханики на электрифицированных железных дорогах Советского Союза началось с 1959 г. Через 5 лет после этого, в 1964 г. было телемеханизировано больше 7 тыс. *км* электрифицированных железных дорог. Это дало экономию только по заработной плате около 1 млн. руб. ежегодно (примерно 1 000 человек оперативного персонала). На ряде электрических подстанций при этом оперативный персонал был весь снят. Большой опыт эксплуатации систем телемеханики подтверждает целесообразность полной ликвидации дежурного персонала на тяговых подстанциях переменного тока и переход на дежурство на дому на тяговых подстанциях постоянного тока.

Внедрение средств телеуправления позволяет улучшить обслуживание контактной сети за счет использования естественных интервалов в графике движения поездов для ремонтных и других работ.

Средства телемеханики дают большой эффект в аварийных режимах сети энергоснабжения. По данным 1964 г., на телемеханизированных участках железной дороги средняя продолжительность задержки поездов во время аварий энергосети сократилась в среднем на 32% по сравнению с нетелемеханизированными участками, а на участках с диспетчерским персоналом, обладающим большим опытом — примерно в 1,5 раза.

Рассмотрим вначале некоторые особенности применения систем телемеханики на электрифицированных железных дорогах.

При управлении энергоснабжением в пределах диспетчерского круга протяженностью 120—200 *км* вдоль электрифицированной дороги размещается 15—25 КП, таких как тяговые электрические подстанции, посты секционирования и станции с разъединителями контактной сети. Каждый КП имеет от 10 до 65 объектов телеуправления и от 15 до 120 объектов телесигнализации. Время передачи команды или сигнала ТС не превышает 2—3 *сек.*

Здесь для телемеханизации применяются специальные устройства ТУ—ТС с временным и частотным разделением сигналов. Для передачи на все КП выделяется один канал тонального телеграфа с полосой 120 *гц*. Передача команд осуществляется импульсным многоступенчатым кодом, который обеспечивает выбор контролируемого пункта, характера операции, группы и объекта управления. Выбор группы позволяет рационально использовать устройство при различном количестве команд на КП. Для телесигнализации используется частотное разделение сигналов — для каждого КП выделяется индивидуальный канал тонального телеграфа.

Телеизмерение напряжения в линии, токов нагрузки и перетоков мощностей с опорных тяговых подстанций осуществляется по вызову с помощью устройства телеуправления. Для телеизмерения применяются частотно-импульсные и другие системы, работающие по выделенному каналу тонального телеграфа.

Телеуправление разъединителями контактной сети, как уже отмечалось, позволяет проводить ремонтные работы, не нарушая графика движения поездов. Для телеуправления такими разъединителями, располагаемыми небольшими группами вдоль железной дороги, используется специальное устройство ТУ—ТС, которое обслуживает до 10 КП, имеющих каждый до 10 объектов ТУ и до 12 объектов ТС. Здесь применяется временное разделение сигналов ТУ и ТС. Телесигнализация осуществляется циклически по вызову. Время передачи команды телеуправления и извещения о ее выполнении (ТС) не превышает 10—15 *сек*.

На железнодорожных линиях постоянного тока передача сигналов осуществляется во многих случаях по воздушным проводным цепям, диаметр стальных проводов которых равен 4—5 *мм*, а на электрифицированных линиях переменного тока — по кабелю. В этих линиях в полосе от 450 до 3 690 *гц* образуется 19 каналов телемеханики. Есть опыт применения радиорелейных линий связи.

Система ЭСТ-62 отличается от более ранних разработок ВНИИ ж. д. (БСТ-59, БТР-60) в основном усовершенствованием отдельных схем, упрощением функциональных связей, выбором облегченных режимов и большим переходом на блочную конструкцию на основе печатных схем и типовых модулей.

Высокая взаимозаменяемость достигнута за счет больших первоначальных резервов на изменение различных параметров. ЭСТ-62 включает:

1. Комплект аппаратуры с частотным разделением каналов ТС ЭСТ(Ч) для пунктов с большим объемом передаваемой информации (68 двухпозиционных команд ТУ и 121 двухпозиционных ТС на каждом из 15 КП). Эта аппаратура выполняет функции телеуправления тяговыми подстанциями и крупными постами секционирования.

2. Комплект аппаратуры телеуправления и телесигнализации с временным разделением каналов ЭСТ(В) для разъединителей контактной сети, имеющих КП с малым объемом информации (10 двухпозиционных команд ТУ и 10—11 двухпозиционных ТС на каждом из 10 КП).

Суммарная емкость системы ЭСТ, включая ЭСТ (В), равна 1 120 двухпозиционных команд ТУ и 1 925 двухпозиционных ТС. Аппаратура может работать по типовым воздушным, кабельным, высокочастотным и радиорелейным каналам связи. Предусматривается возможность образования как дуплексной, так и симплексной связи. Дальность действия определяется каналом связи. Для проводной стальной цепи без промежуточных усилителей дальность действия равна 180—200 *км* (при симплексной связи).

Рассмотрим принцип действия аппаратуры с частотным разделением каналов ТС, ТУ—ЭСТ (Ч), рассчитанной на большой объем передаваемой информации. Она включает общее передающее устройство телеуправления на 15 КП, индивидуальные приемные устройства ТУ на КП, индивидуальные передающие устройства ТС на КП, приемные устройства телесигнализации на ДП, пульт диспетчера и мнемосхему энергосети.

Передача команды телеуправления осуществляется временным кодом. Командная серия кода состоит из 32 импульсов. Она включает в себя длинные импульсы начала передачи, выбора КП (два длинных импульса из шести), выбора объекта (один импульс из 17), выбора группы (один длинный импульс из четырех) и сверхдлинный фазирующий импульс. Упрощенная блок-схема передающего и приемного устройства для передачи команд телеуправления приведена на рис. 22.

Передающее устройство, общее для всех КП, состоит из пульта управления *П*, генератора импульсов *ГИ*, матричного распределителя P_1, шифратора адреса *Ш*, логического блока $ЛБ_1$ и линейного блока $Л_1$.

Пульт-манипулятор имеет общие для всех КП кнопки выбора объектов и индивидуальные кнопки выбора операции, имеются также кнопки для выбора КП. Объекты разделены на четыре группы по 17 объектов в каж-

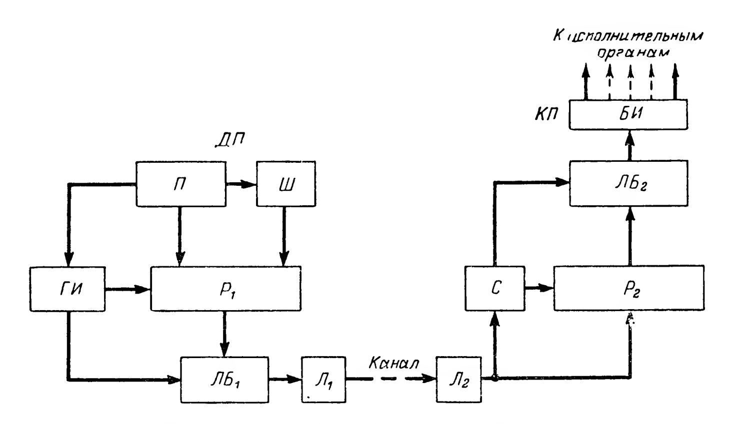


Рис. 22. Упрощенная блок-схема устройств для передачи команд в ЭСТ-62.

дой (всего 68 объектов). Кодирование команды осуществляется путем подключения выходных цепей распределителя к схеме кодирования с помощью командных кнопок. Пульт-манипулятор диспетчера размещается отдельно от передающего устройства ТУ. Генератор импульсов включает в себя мультивибратор и триггер — делитель частоты.

Распределитель P_1 состоит из пятиразрядного двоичного счетчика на триггерах и матричного дешифратора параллельного типа. Шифратор адреса *Ш* шифрирует адрес КП, характер операции, номера группы и объекта. Логический блок включает в себя схему кодирования и логическую схему. Схема кодирования состоит из триггера кодирования и датчиков времени. Логическая схема имеет триггер начала передачи, триггер ограничения передачи и триггер повторной передачи.

Длинный импульс начала передачи образуется триггером начала передачи, который срабатывая открывает

схему совпадения первого выхода дешифратора (распределителя). Триггер начала передачи срабатывает, когда распределитель переходит в первое положение при условии, что были нажаты кнопки выбора объекта и операции, триггер ограничения передачи был сброшен и один из четырех триггеров выбора группы был возбужден. Триггер ограничения передачи возбуждается сразу же после срабатывания триггера начала передачи. Выбор групп осуществляется триггерами выбора группы, которые открывают соответствующие выходы дешифратора и т. д.

Каждая командная серия импульсов повторяется дважды с помощью триггера передачи, которым осуществляется счет серий импульсов. После окончания второй серии импульсов триггер повторной передачи воздействует на схему и происходит сброс триггеров начала передачи, ограничения передачи, а также триггеров группы, и передача команды ТУ заканчивается.

Приемное устройство телеуправления на каждом КП (рис. 22) состоит из линейного блока $Л_2$, блока синхронизации *С*, матричного распределителя P_2, логического блока $ЛБ_2$ и исполнительного блока *БИ*. Блок синхронизации *С* включает в себя схему приема длинных синхроимпульсов. Он имеет триггер задержки и датчик времени, состоящий из генератора импульсов и трехразрядного двоичного счетчика на триггерах. Распределитель P_2 состоит из пятиразрядного двоичного счетчика на триггерах и матричного дешифратора параллельного типа. Логический блок $ЛБ_2$ включает в себя узел триггеров и схему защиты. Узел триггеров имеет триггер приема управления, триггеры выбора контролируемых пунктов и триггер повторной передачи.

В схему защиты входят следующие защиты: от рассинхронизации, от искажения импульса, от выбора двух КП и двух объектов.

Исполнительный блок *БИ* состоит из 23 выходных наборных реле, реле разрешения исполнения и схемы блокировки, включающей в себя каскад задержки, инвертор, усилитель и диодную логическую схему И. Маломощные выходные наборные реле срабатывают непосредственно от импульса, подаваемого с выхода распределителя. Применение такой выходной схемы позволило сократить количество контактов на 40% и уменьшить количество транзисторов в приемном устройстве

больше чем в 1,5 раза при увеличении общего числа электромагнитных реле всего на 15%.

Защита от выбора двух объектов выполняется путем контроля числа сработавших реле, раздельно объектовой и групповой частей. Для этого в цепь блокировки объектовой и групповой частей включены магнитные торы с сердечниками с прямоугольной петлей гистерезиса, работающие как датчики тока. Их срабатывание происходит в случае одновременного выбора двух или большего числа реле (два тока или больше). При этом им-

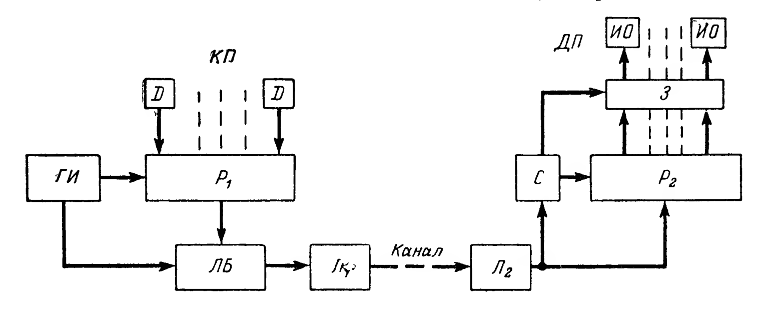


Рис. 23. Блок-схема передающего и приемного устройств телесигнализации ЭСТ-62.

пульсы после усиления подаются на триггер запрета, который запрещает работу реле исполнения и исполнение команды. Устройство имеет защиту от повреждения реле исполнения.

Сигналы ТС передаются распределительным кодом, при этом синхронизирующий импульс имеет увеличенную длительность. Блок-схема передающего и приемного устройств телесигнализации приведена на рис. 23.

Передающее устройство на КП состоит из генератора тактовых импульсов *ГИ*, матричного распределителя P_1 логического блока *ЛБ* и линейного блока $Л_1$.

Генератором импульсов является мультивибратор. Распределитель P_1 включает в себя шестиразрядный двоичный счетчик на триггерах и комбинированный матричный дешифратор (параллельно-последовательный).

Логический блок *ЛБ* имеет кодирующую и логическую схемы. В кодирующую схему, удлиняющую как импульсы, так и паузы, входит триггер кодирования, формирующий каскад, инвертор и датчик времени, состоящий из двух триггеров. Логическая схема состоит из ин-

верторов и каскадов транзисторно-емкостной задержки.

Приемное устройство телесигнализации имеет линейный блок $Л_2$, матричный распределитель P_2, блок синхронизации *С*, схемы защиты *3* и исполнительные элементы *ИО*.

Линейный блок включает в себя линейный триггер и инверторы-повторители. Распределитель состоит из ше-

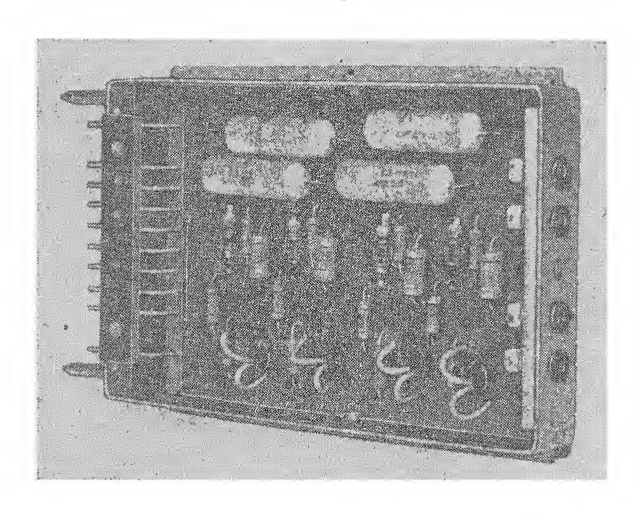


Рис. 24. Фотография модуля системы ЭСТ-62.

стиразрядного двоичного счетчика на триггерах и последовательно-параллельного матричного дешифратора.

Блок синхронизации включает в себя схему для приема удлиненных синхроимпульсов. Блок имеет триггер задержки, инвертор, датчик времени, включающий в себя трехразрядный двоичный счетчик на триггерах, генератор импульсов и устройство для сброса счетчика в нулевое состояние.

Исполнительные элементы состоят из запоминающих элементов в виде магнитных торов с прямоугольной петлей гистерезиса, сигнальных тиратронов и схемы управления магнитными запоминающими элементами и тиратронами.

В схему управления входят усилители считывания записи, усилитель общего сброса, усилитель гашения тиратронов и устройство для временного разделения работы усилителей.

Конструктивно во всей аппаратуре системы ЭСТ-62 используется блочный принцип построения на основе типовых модулей. Примерно 90% всех модулей типовые.

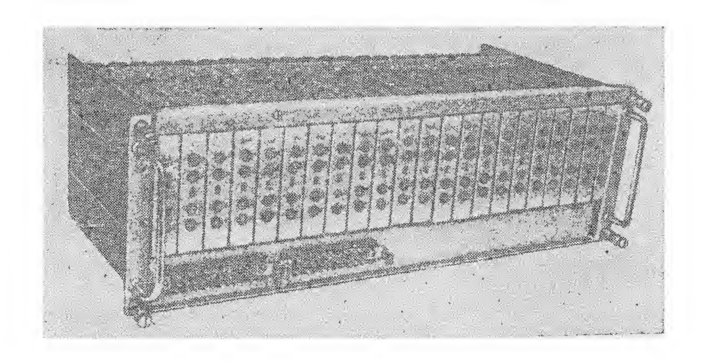


Рис. 25. Фотография блока ЭСТ-62.

Они имеют общее конструктивное выполнение и представляют собой одну из нескольких печатных схем с типовым разъемом. Модули имеют несколько типоразмеров и отличаются только по ширине, которая определяется габаритами установленных на них деталей (рис. 24). Модули группируются в блоки (рис. 25).

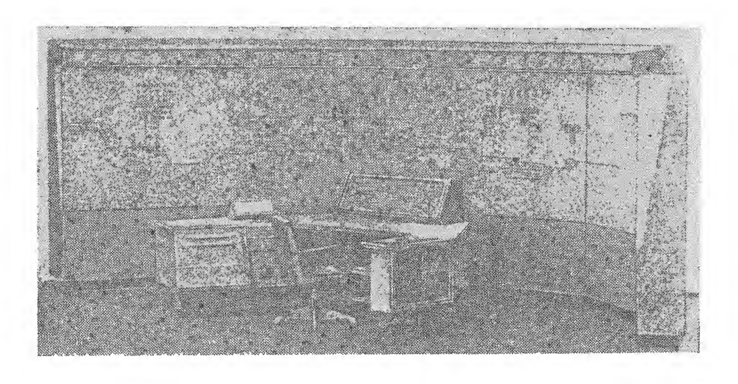


Рис. 26. Общий вид аппаратуры диспетчерского пункта ЭСТ-62.

Приемные и передающие устройства выполнены в виде типовых стоек, на которых установлены блоки. Мне-

мосхема конструктивно выполнена вместе со стойками ДП. Это резко сократило соединительные провода и упростило конструкцию. Общий вид аппаратуры диспетчерского пункта показан на рис. 26. Фотографии аппаратуры КП приведены на рис. 27.

На железнодорожном транспорте накоплен уже большой опыт эксплуатации сравнительно сложных устройств телемеханики, включая систему ЭСТ-62. В этой системе были учтены недостатки ранее разработанных устройств и получены хорошие показатели по надежности аппаратуры и по количеству транзисторов на объект ТУ и ТС. В целом на один объект ТУ—ТС в системе ЭСТ-62 используется только 0,6 транзистора. По данным 1964—1965 гг. число повреждений аппаратуры телемеханики во время эксплуатации сократилось примерно до одного в год на один КП при круглосуточной эксплуатации. Учитывая тяжелые условия работы аппаратуры КП (в неотапливаемых помещениях и шкафах на открытом воздухе), полученные результаты можно признать хорошими, тем более, что при этом количество повреждений релейной аппаратуры местной автоматики на один КП в несколько раз больше.

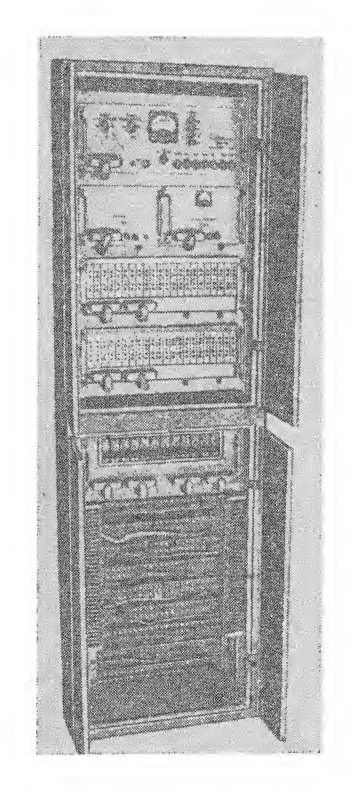


Рис. 27. Фотография аппаратуры контролируемого пункта системы ЭСТ-62.

12. КОДОВАЯ СИСТЕМА «МАРАФОН»

Основные сведения. Система телемеханики «Марафон» разработана французской «Центральной компанией беспроволочного телеграфа» для телемеханизации крупных рассредоточенных КП на магистральных газопроводах и нефтепроводах, железных дорогах и т. п.

Телемеханический контроль и управление осуществляется из одного ДП. Система «Марафон» может быть использована для работы на различных ступенях телемеханического управления. При разработке аппаратуры большое внимание обращалось на гибкость решений с целью расширения области ее применения для объектов с различным объемом и характером сигналов.

Аппаратура «Марафон» установлена и эксплуатируется на газопроводе Гасси — Р. Мель — Арзев, на нефтепроводе Зарзетин — Средиземное море (в Северной Африке), на шахте, в системе водоснабжения, на железной дороге (для телеуправления локомотивами) и т. п. Во всех этих случаях используется различное количество сигналов ТУ, ТС и ТИ на КП и различное число КП в системе.

Максимальный объем передаваемой информации на один КП в основной модификации составляет:

а) 52 двухпозиционных объекта ТС;

б) девять параметров ТИ, для каждого из которых передается по две декады двоично-десятичного кода (дискретность 1%);

в) 21 двухпозиционный объект ТУ.

Система допускает повышение точности телеизмерений путем увеличения числа разрядов двоично-десятичного кода до трех, или путем использования двоичного кода с соответствующим числом разрядов, передачу команд многопозиционного телеуправления и некоторых других сигналов.

Наиболее протяженные каналы связи используются на трубопроводах. Фирма утверждает, что максимальный объем сигналов для «Марафона» практически неограничен. Однако такое утверждение имеет скорее рекламный характер (например, в связи с ограниченным числом допустимых подключений к общему магистральному каналу связи). Максимальное число контролируемых пунктов, реально включенных на одном телемеханизированном трубопроводе, равно шести. Для шести КП максимальная суммарная емкость системы «Марафон» будет $6\times52=312$ сигналов ТС, $6\times9=59$ параметров ТИ и $6\times12=125$ сигналов ТУ, т. е. всего 492 сигнала.

Скорость передачи информации в системе «Марафон» может изменяться в широких пределах и ограничивается, главным образом, полосой частот канала связи. При этом в системе необходимо переключать внутреннюю

тактовую частоту. Аппаратура «Марафон» может работать по телеграфному каналу с полосой пропускания 120, 180 и 240 *гц* со скоростью соответственно 50, 75 и 100 *бод* или по телефонному каналу (300—3 300 *гц*) с типовыми скоростями 1 200 и 2 400 *бод*. Для одного комплекта системы сообщения ТУ, ТС, ТИ состоят из одинакового числа импульсов. Так, при длине сообщения, равной 23 импульса, время передачи сообщения в одном направлении равно 0,46 *сек* (скорость 50 *бод*).

Все элементарные сигналы при передаче ТУ, ТС и ТИ приведены к двум значениям (0 и 1), т. е. применяются двоичные коды. Они передаются через канал связи путем частотной модуляции. Предусматривается передача двумя или тремя частотами. В случае двух частот в канале связи частоте f_0 соответствует 0, а частоте f_1—1. При использовании трех частот каждый элементарный сигнал передается двумя частотами. Для передачи 0 посылается в начале частота f_3, а затем f_0, а для передачи 1 — частота f_1 и затем f_3. Естественно, что в случае трех частот полоса в канале связи используется менее эффективно, но за счет этого повышается помехоустойчивость передачи и упрощается аппаратура приемника. Три частоты применяются при использовании телефонных каналов, а две частоты — при телеграфных каналах.

На диспетчерском пункте информация выдается в цифровой форме на цифровые индикаторы, печатающие машинки и для ввода в ЦВМ или в аналоговой форме для выходных приборов и для записи на самописцах.

Сигналы ТУ воздействуют на исполнительные реле, а на пульте управления сигналы ТУ и ТС отображаются световой сигнализацией.

Надежность передачи информации обеспечивается совокупностью средств, повышающих как аппаратурную надежность, так и средств, обнаруживающих и недопускающих ошибки из-за флуктуационных и импульсных помех.

В системе «Марафон» предусмотрена различная степень защищенности сигналов. Так, для передачи сигналов ТИ и ТС за основу принят принцип циклической передачи. Диспетчерский пункт поочередно циклически запрашивает контролируемые пункты. В кодах ТИ и ТС предусматривается защита от помех. Если помеха вызывает защитный отказ, то информация может быть при-

нята в последующих циклах. В простейшем случае предусматривается защита от единичных искажений.

Такая защита недостаточна, например, при вводе информации в ЦВМ. Повышение надежности передачи достигается путем перехода к двухкратным передачам каждого сообщения или применением более сложных методов передачи таких, например, которые обеспечивают контроль четности по строке и колонке, или путем перехода к циклическим кодам. Из имеющихся материалов не ясно, в какой степени фирмой отработаны такие более сложные методы передачи информации.

При передаче команд ТУ применяется адресное подтверждение приема команды, передача разрешения исполнения команды и подтверждения исполнения команды.

Конструктивно аппаратура выполнена в виде стоек (шкафов), содержащих типовые блоки. Каждый блок имеет набор типовых печатных схем с полупроводниковыми элементами, конденсаторами и сопротивлениями. Размеры блоков и печатных схем унифицированы.

Аппаратура рассчитана на окружающую температуру в пределах от —10 до +45° С. Потребление электроэнергии устройством КП составляет примерно 300 *вт.* В случае повышенных требований к надежности проводятся дополнительные более суровые испытания устанавливаемых в аппаратуру деталей.

Принцип передачи сообщений. Каждое сообщение ТУ, ТС и ТИ в системе «Марафон» имеет адрес и содержание (текст).

Адресная часть сообщения может иметь:

а) адрес КП, что позволяет определить КП назначения и КП отправки сообщения; б) номер программы, определяющий вид сообщения (контрольное телеизмерение, запрос КП, ТИ, команда ТУ, подтверждение приема, исполнительная команда); в) адрес объекта, позволяющий определить содержание (текст) каждого из единичных сообщений, если их передается несколько.

Текст, также как и адрес, может иметь различное количество элементов сообщений в пределах общей унифицированной длины сообщения. Для простейших сообщений текст отсутствует. В тех случаях, когда текст есть, он может содержать:

а) значение величины ТИ, закодированной в двоично-десятичном или в двоичном коде;

б) значение контрольной величины (заранее известной), передаваемой для коррекции ТИ (контрольное телеизмерение);

в) группу двухпозиционных сигналов ТС (типа 0 и 1);

г) группу двухпозиционных команд ТУ;

д) значение многопозиционной команды ТУ.

Блок-схемы устройств ДП и КП в системе «Марафон» в известных пределах могут изменяться и зависят от

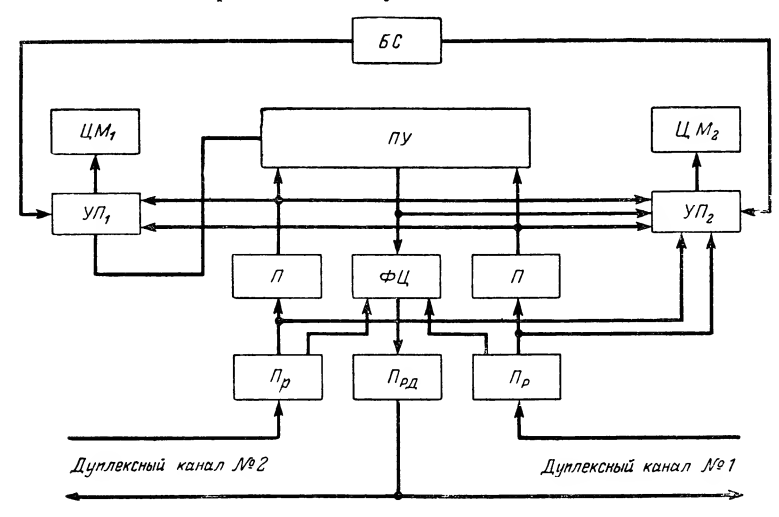


Рис. 28. Блок-схема диспетчерского пункта системы «Марафон».

ПУ — пульт управления; *БС* — блок синхронизации; $ЦМ_1$ — цифропечатающая машинка для ТИ; $УП_1$ — блок управления печатью ТИ; $ЦМ_2$ — цифропечатающая машинка для других сигналов; $УП_2$ — блок управления печатью других сигналов; *П* — блок «памяти»; *ФЦ* — формирователь циклов ТУ; *Пр* — приемники; *Прд* — передатчик ДП.

структуры каналов связи и от задач, решаемых системой. Последние определяют объем и характер сигналов ТУ, ТС и ТИ.

На рис. 28 приведена блок-схема ДП для двух дуплексных каналов связи и нескольких КП. Такая схема применяется, например, если ДП расположен не на конце трубопровода. В этом случае уменьшение числа КП, подключенных к общему каналу связи, повышает надежность передачи информации с КП.

Сообщения ТИ и ТС обычно передаются по принципу запрос — ответ и начинаются по запросу с ДП. Диспетчерский пункт посылает на соответствующий КП запрос

без текста, т. е. сообщение, содержащее в адресной части адрес этого КП и номер программы. Приемники КП постоянно включены и после дешифрации запроса данный КП отвечает. Разные ТИ и группы ТС различаются адресом, который содержится в первой части сообщения. Из соображений однородности длина текста одинакова для ТИ и для групп ТС. Так, если телеизмерение передается тремя декадами двоично-десятичного кода с дискретностью 0,001, то текст содержит 12 импульсов (три десятичных знака, каждый из которых передается четырьмя импульсами). При этом и все тексты ТС будут содержать 12 импульсов, а так как адресная часть и начало сообщения состоит обычно из 11 импульсов (четыре импульса — начало сообщения, три — вид программы и четыре — адрес), то все сообщение состоит из 23 импульсов.

В простейшем случае для системы только с одним КП запросы с ДП могут не посылаться и цикл передачи будет задан контролируемым пунктом.

Дополнительное повышение надежности передачи сигналов ТИ и ТС может быть достигнуто следующими путями:

а) добавлением импульса контроля и переходом к защищенному коду при передаче сообщений ТС;

б) использованием кода с обнаружением ошибок (циклические коды);

в) двукратной посылкой сообщений.

Все команды телеуправления в системе передаются с двойным квитированием. Вначале диспетчерский пункт посылает на соответствующий КП сообщение, состоящее из одного или нескольких единичных сообщений. Тексты этих сообщений содержат либо команды типа «включить», «отключить», либо значение команды при многопозиционном ТУ. Адресная часть состоит из адреса КП, номера программы, указывающего, что передается команда ТУ, и адреса объекта на КП. Например в простейшем случае, адресная часть может состоять из 11 импульсов (четыре импульса — начало сообщения, три — программа сообщения, два — адрес КП и два — адрес объекта).

После установления своего адреса и номера программы телеуправляемый КП записывает сообщение в своем главном блоке памяти, а затем посылает это же сообщение обратно на ДП.

Диспетчерский пункт после сравнения посланного и принятого сообщения вновь передает сообщение, но уже без текста, содержащее номер программы, которое разрешает КП исполнить команду. После этого КП отвечает сообщением без текста (содержащим номер программы), подтверждающим исполнение команды. Если на одном из этапов передачи команды возникла ошибка и подтверждение исполнения команды не получено, то новый цикл начинается автоматически. Временные диа-

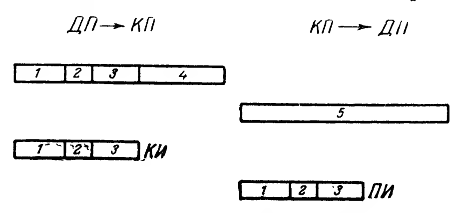


Рис. 29. Цикл телеуправления.

1 — начало сообщения; *2* — номер программы; *3* — адрес; *4* — команда ТУ; *5* — сообщение, повторяющее полученное с ДП; ***КИ*** — команда исполнения; ***ПИ*** — подтверждение исполнения команды.

граммы сообщений ТУ приведены на рис. 29. В частном случае при работе с одним КП его адрес отсутствует в адресной части сообщения.

Аппаратура системы «Марафон» состоит из приемно-передающих устройств. Каждое такое устройство в свою очередь имеет центральную, обычно основную часть аппаратуры и специальное устройство управления.

Центральная часть выполнена в виде функциональных логических блоков, имеющих в ряде случаев несколько вариантов. Каждый функциональный блок состоит из набора типовых печатных схем.

Устройство управления выполняется индивидуально для каждой задачи. Оно позволяет различать приемно-передающие устройства ДП и КП и привязывает их к каждому отдельному случаю с индивидуальным числом различных входов и выходов. Создание индивидуального устройства управления облегчается тем, что оно всегда состоит из типовых логических схем (И, ИЛИ, НЕ, ПАМЯТЬ и др.).

Типовое передающее устройство имеет определенный набор блоков. Его схема приведена на рис. 30. Если типовое передающее устройство находится на ДП, то оно передает на КП сообщения двух- и многопозиционных

команд ТУ, команды исполнения и запроса КП. Если же передающее устройство находится на контролируемом пункте, то оно передает на ДП сообщения ТИ с текстом в виде цифрового кода, сообщения ТС или аварийные сигналы, подтверждения команд ТУ и подтверждения исполнения команд.

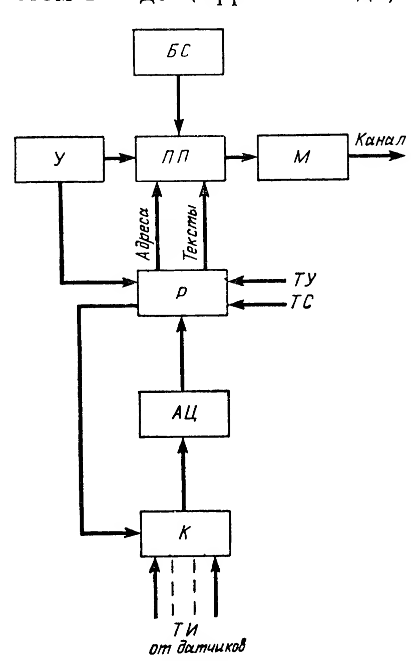


Рис. 30. Блок-схема передающего устройства.

БС — блок синхронизации; *У* — блок управления; *ПП* — параллельно-последовательный преобразователь; *М* — модулятор; *Р* — распределитель; *К* — коммутатор; *АЦ* — аналого-цифровой преобразователь.

Набор блоков в передающем устройстве зависит от решаемой задачи и от места установки (на ДП или КП). Так, аналого-цифровой преобразователь (*АЦ*) может быть выполнен с преобразованием в семиразрядный двоичный код или в двоично-десятичный код с двумя или тремя разрядами десятичных цифр (дискретность 1 или 0,1%).

Выполнение коммутатора *К* зависит от точности телеизмерений. При допустимой погрешности 1% применяется коммутатор на транзисторах, а в случае погрешности 0,1% датчики ТИ переключаются герметизированными контактными реле.

Блок распределителя *Р* подает на вход параллельно-последовательного преобразователя *ПП* адреса и тексты передаваемых сообщений. Он имеет три каскада: входной каскад, собственно распределитель — двоичный счетчик и выходной каскад. Двоичный счетчик запускается блоком управления *У*. Он дает начало движения распределителю и коммутатору *К*. При этом счетчик выдает адрес сообщения непосредственно в двоичном коде.

Блок параллельно-последовательного преобразования *ПП* вырабатывает последовательные коды с часто-

той, задаваемой блоком синхронизации *БС*. На вход блока *ПП* сообщения поступают параллельно с распределителя (текст и адрес) или с блока управления (номер программы, адрес КП). Группа импульсов «начало сообщения» в последовательном коде генерируется автоматически.

Блок ПП может быть выполнен в двух вариантах. Первый вариант параллельно-последовательного преобразователя имеет более ограниченные возможности по длине сообщений и предназначен для работы на малых скоростях. Он состоит из двух узлов, первый из которых относится к адресу, а второй — к тексту. Каждый узел имеет двоичный счетчик и стробирующую схему. Запуск двоичного счетчика разрешает последовательную передачу стробимпульсов, соответствующих различным элементам сообщения. Двоичный счетчик может считать до 16. Его можно остановить и возвратить на нуль из любого положения, что дает возможность получать сообщения любой длины до 16 включительно, а для двух таких узлов — длиной до 32 импульсов.

Второй вариант блока параллельно-последовательного преобразователя *ПП* имеет регистр смещения и предусматривает нестандартное увеличение длины сообщения. Такой блок состоит из регистра смещения с числом ячеек, равным числу импульсов в сообщении. Передаваемое сообщение записывается в регистр параллельно. Заданное число импульсов смещения (движения) подается на регистр с блока управления *У*. Они передвигают регистр на число ячеек, равное числу подаваемых импульсов. Нулевая ячейка регистра является последовательным выходом преобразователя. В случае использования циклических кодов регистр дополняется цепями формирования «избыточных» импульсов. При этом он может работать с высокой скоростью передачи по телефонному каналу.

Блок синхронизации *БС* состоит из генератора прямоугольных импульсов и делителя частоты (на 2, 4, 8 или 16). Более редкие импульсы необходимы в логике управления для подготовки ряда операций (подача или прекращение стробимпульсов, для изменения адресов и т. д.).

Блок управления *У* выполняется, как уже говорилось, индивидуальным для каждого ДП и КП из типовых логических печатных схем. Он управляет последователь-

ностью передачи элементов сообщений через коммутатор датчиков ТИ *К* распределитель *Р* и параллельно-последовательный преобразователь. На контролируемых пунктах блок управления запускается через приемник. На диспетчерском пункте блок управления формирует запросы и управляет передачей команд ТУ по приказу оператора, а также при отсутствии ответа с КП и при неправильном ответе. Блок управления, кроме того, управляет повторением передачи.

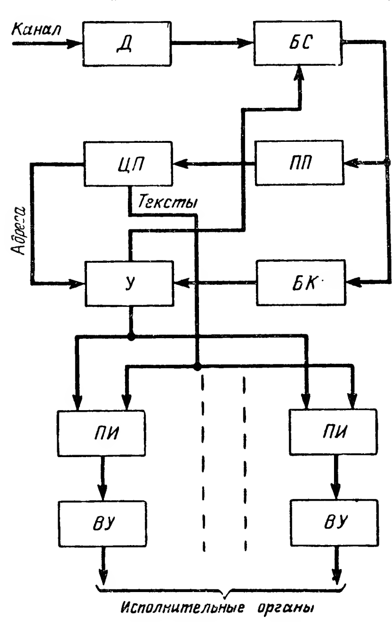


Рис. 31. Блок-схема приемного устройства.

Д — демодулятор или детектор; *БС* — блок синхронизации; *ПП* — последовательно-параллельный преобразователь; *БК* — блок проверки правильности передачи; *ЦП* — блок центральной «памяти»; *У* — блок управления; *ПИ* — индивидуальная «память»; *ВУ* — выходной усилитель.

Типовое приемное устройство. Блок-схема приемного устройства приведена на рис. 31. Приемное устройство на ДП принимает сообщения ТИ, ТС и ТУ (повторение команды и исполнение команды) и сообщения о подтверждении приема. Устройство на КП принимает с ДП сообщения двух- и многопозиционных команд ТУ, исполнительные команды и сообщения запроса.

Блок синхронизации БС осуществляет синхронную работу передающего и приемного устройств. Его схема зависит от вида передаваемых сигналов. Если принимаемый сигнал трехчастотный, то импульсы 0 и 1 будут выделяться в результате детектирования без блока синхронизации. Если же принимается двухчастотный сигнал, то обойтись без синхронизирующих импульсов невозможно. В этом случае применяется схема синхронизации, идентичная со схемой в передающем устройстве. Подстройка частоты генератора в приемном блоке синхронизации осуществляется по принимаемым импульсам.

В каждом комплекте системы «Марафон» выбирается заранее известное приемнику число импульсов в сообщении. Это позволяет пропускать на выход блока синхронизации сигналы в течение определенного интервала времени после приема импульсов «начало сообщения» (см. рис. 29) и блокировать выход как в паузах, так и во время импульсов «начало сообщения». Такой способ резко повышает защищенность от помех, особенно во время пауз, длительность которых обычно во много раз превышает длительность передачи сигналов.

Последовательно-параллельный преобразователь *ПП* может быть выполнен в двух вариантах.

Первый вариант преобразователя с избирательным устройством выполняется в виде двух узлов, обычно предназначенных один для адреса, а второй для текста. Каждый из них состоит из двоичного счетчика и избирательного устройства. Избирательное устройство позволяет последовательно посылать стробимпульсы в блок центральной «памяти» *ЦП*.

Передаваемое сообщение записывается по импульсам в блок центральной «памяти», разделенной на две части — для записи адресов и текстов.

Второй вариант блока последовательно-параллельного преобразователя имеет регистр смещения, который выполняет также функции центрального запоминающего устройства. Число ячеек в регистре равно числу импульсов в сообщении. Принимаемое сообщение подается на последовательный вход регистра, а импульсы движения, вырабатываемые блоком управления *У* с участием блока синхронизации *БС*, передвигают регистр. Двоичный счетчик считает число импульсов движения и останавливает движение, когда все сообщение принято. После этого сообщение записано в регистре и его можно выдать с ячеек регистра (параллельно).

Блок проверки правильности передачи *БК* может определять отсутствие ошибок в передаче сообщения, как уже частично указывалось одним или несколькими следующими способами:

а) Проверкой по числу принятых импульсов, после того как они записаны в блоке центральной «памяти» *ЦП*.

б) Проверкой путем двойной передачи сообщения. При этом первое сообщение записывается в блоке цен-

тральной «памяти» и затем сравнивается с повторным сообщением схемой сравнения сообщений.

в) Проверкой с помощью специальной схемы при использовании циклического кода.

г) Проверкой квитированием на диспетчерском пункте. При этом переданное с ДП сообщение полностью сравнивается с сообщением, принятым с КП, если КП повторяет принятое им сообщение.

д) Проверка квитированием сообщений ТИ и ТС на КП. Осуществляется путем сравнения только адресной части сообщения (переданной и принятой).

Индивидуальная «память» приемного устройства *ПИ* выполнена на триггерах. Сигналы с триггеров подаются на индивидуальные выходные усилители *ВУ* и далее воздействуют на исполнительные органы. Такими органами могут быть исполнительные реле ТУ, сигнальные лампочки, блок управления цифропечатающей машинкой, двоично-десятичный дешифратор при цифровой индикации или цифроаналоговый преобразователь при записи самописцем или при индикации выходным прибором.

Блок управления *У* приемного устройства управляет операциями приема сообщений. Он управляет последовательно-параллельным преобразователем и после проверки правильности приема передает информацию, записанную в блоке центральной «памяти» *ЦП,* в индивидуальную «память». Блок управления приемного устройства на ДП, кроме того, участвует вместе с передающим устройством в проверке правильности приема обратных сообщений.

13. КОДОВАЯ СИСТЕМА Ф-200

Комплексная универсальная система телемеханики Ф-200 разработана фирмой АЭГ (ФРГ) для различных отраслей промышленности, сельского хозяйства и транспорта. Она приспособлена для обмена информацией ТУ, ТС и ТИ между ДП и одним, несколькими или многими рассредоточенными контролируемыми пунктами при различных объемах передаваемой информации и использовании как телефонных, так и телеграфных каналов связи.

Аппаратура Ф-200 по максимальному объему передаваемой информации ТУ, ТС, ТИ является самой крупной системой, выпускаемой в ФРГ. Она отражает сле-

дующие общие тенденции развития систем телемеханики в Западной Германии:

1. Разработка и серийный выпуск своеобразного типажа универсальных комплексных импульсно-кодовых устройств ТУ, ТС, ТИ для объектов энергосистем, трубопроводного, железнодорожного транспорта и других объектов (фирмы Сименс и Гальске, АЭГ и ББЦ). Эти устройства построены из типовых блоков, унифицированных в пределах фирмы, и позволяют изменять объем передаваемой информации для каждого КП и число КП в пределах максимальной емкости системы.

2. Устройства рассчитываются на один общий дуплексный канал связи (телефонный или телеграфный) при передаче команд с ДП. Информация ТС и ТИ часто передается по индивидуальным каналам для каждого КП. Скорость передачи информации выбирается в пределах примерно от 25 *бод* до многих сотен или нескольких тысяч бод, в зависимости от полосы пропускания и искажений, вызываемых помехами в канале связи. Скорость изменяется переключением тактовой частоты устройства. Это позволяет использовать самые различные каналы связи (проводные, кабельные, высокочастотные, радио и др.).

3. Для передачи информации по каналу связи используются коды с временными импульсными признаками (изменение длительности импульса и паузы). Как правило, применяются коды с многоступенчатым избиранием. Выбираются они в зависимости от объема передаваемой информации и других особенностей как самой системы телемеханики, так и фирмы, разработавшей аппаратуру.

4. В отличие от ряда зарубежных фирм, использующих типовые модули вычислительной техники (Англия, Италия и др.), в фирмах Сименс и Гальске, АЭГ и в германском филиале фирмы ББЦ применяются унифицированные логические транзисторные блоки и модули систем промышленной электронной автоматики (логических машин, устройств программного управления, централизованного контроля и т. п.).

5. Повышение надежности аппаратуры, которому уделяется большое внимание, достигается тщательным контролем всех комплектующих деталей и тщательной отработкой конструкции аппаратуры. Так, проводится дополнительная тренировка и старение транзисторов, при-

меняются антикоррозийные покрытия печатного монтажа, тщательный поблочный контроль и т. п.

Сводные технические данные системы Ф-200.

1. Объем информации: а) число однопозиционных команд от 504 до 1 568; б) число дискретных сообщений ТС от 1 008 до 1 904; в) число единичных дискретных сообщений ТИ от 936 до 1 768 (от 30 до 60 объектов ТИ).

2. Быстродействие (зависит от применяемых каналов связи): а) скорость передачи от 25 до 400 *бод*; б) время передачи команды $48/v$ *сек*; в) среднее время передачи ТС и ТИ $86/v$ *сек*, где v — скорость в бодах.

Для передачи информации с ДП на КП используется один общий канал (проводный, радио, высокочастотный или др.), а информация с КП на ДП передается по индивидуальным подканалам для каждого КП.

Известительные сообщения передаются циклически или по запросу.

3. Допустимые краевые искажения импульсов: а) при $v=200$ *бод* — 25%; б) при $v=400$ *бод* — 5%.

4. Точность телеизмерений $\pm 1\%$.

5. Ввод информации: а) команды ТУ — нормально открытый сдвоенный контакт: б) ТС — нормально открытый контакт; в) ТИ — 0—10 *в*, или 0—10 *ма* на постоянном токе, при $R=1$ *ком*.

6. Вывод информации: а) команды ТУ — по заказу; б) ТС — один нормально открытый и один переключающий контакты; в) ТИ аналоговое — 0—50 *ма* при $R_{\text{нагр}}=200$ *ом*, 0—25 *ма* при $R_{\text{нагр}}=400$ *ом*; г) ТИ цифровое — один переключающийся контакт на разряд.

7. Питание: а) напряжение постоянного тока 12—60 *в*, напряжение переменного тока 42—500 *в;* б) потребляемая мощность ДП — от 0,25 до 5 *квт,* КП — от 0,2 до 1 *квт;* в) допустимые изменения напряжения +10 —15%. Кроме того допускается кратковременное перенапряжение до +20%.

8. Температура окружающей среды от —15 до +45° С при относительной влажности 75%. Допускается кратковременное увеличение влажности до 95%. Функциональные блоки рассчитаны на изменение окружающей температуры от —20 до +55° С.

9. Конструкция. Применяются типовые логические транзисторные блоки «Логистат-II», монтируемые в стандартных шкафах или стойках телефонно-телеграфной связи. Функциональные блоки для ввода и вывода

команд и ТС, а также контрольные узлы выполнены с применением электромеханических реле. Блоки КП размещаются в одном шкафу. Аппаратура ДП может размещаться в нескольких шкафах.

Принцип действия. В аппаратуре системы Ф-200 применяется блочное построение. Увеличение объема передаваемой информации или числа КП достигается увеличением количества типовых блоков в пределах максимальной емкости системы и возможности выбранного кода. Если исчерпаны возможности кода, то переходят, например, от кода на сочетание C_8^2 к коду C_8^3 или C_{18}^m.

На диспетчерском пункте при достаточной емкости устанавливается один блок основной модификации «передача команд» и несколько блоков «прием сообщений» по числу КП. Если число команд превышает емкость одного основного блока «передача команд», то конструкция допускает использования нескольких блоков, вплоть до одного блока на каждое КП. Информация ТС и ТИ принимается на диспетчерском пункте блоком «прием сообщений», проверяется, декодируется и выводится на индикаторные приборы. Блок вывода сообщений состоит из необходимого числа выходных накопителей. Для перекодирования информации ТИ добавляются блоки соответствующих преобразователей. Схема защиты исключает возможность одновременной передачи нескольких команд или случайного повторения команды. Эта же схема сигнализирует об ошибке в кодировании команды. Блок — схема устройства, вырабатывающего команды на ДП, приведена на рис. 32.

Аппаратура КП состоит из двух основных блоков «передача сообщений» и «прием команд». Принятая на КП команда проверяется, декодируется и фиксируется выходными исполнительными реле.

Для кодирования информации используется временной импульсный признак и коды с алфавитом 0 и 1. Элементарные сигналы, используемые в системе, приведены на рис. 33. Здесь *С* — стартовый сверхдлинный импульс длительностью $4d$ (d — минимальная рабочая длительность импульса в данном канале связи); состояние «0» — короткий импульс и короткая пауза общей длительностью $2d$; состояние «1» — удлиненный импульс и удлиненная пауза суммарной длительностью $4d$; импульс окончания *Ф* — удлиненная пауза и сверхдлинный импульс общей длительностью $6d$.

Распорядительная серия состоит из 18 импульсов и составляется из стартового импульса *С*, кода выбора группы на сочетание C_8^2, кода выбора объекта также C_8^2 и импульса окончания серии *Ф*.

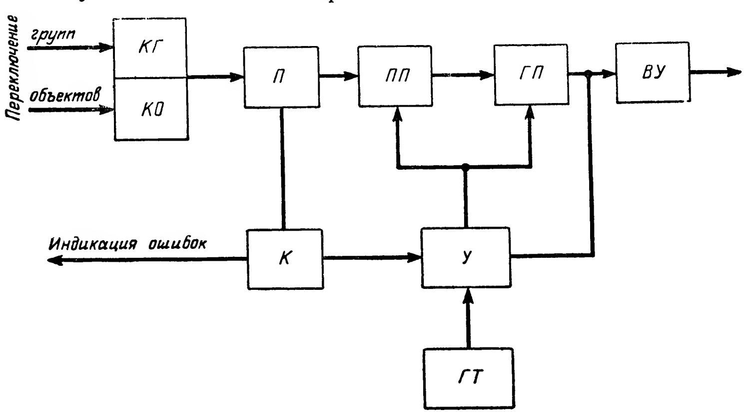


Рис. 32. Блок-схема устройства системы Ф-200, вырабатывающего команды на ДП.

КГ и *КО* — кодирующие устройства, вырабатывающие кодовые комбинации для выбора группы и объектов; *П* — «память» команды; *ПП* — параллельно-последовательное преобразование; *ГП* — генератор импульсных посылок; *ВУ* — выходной усилитель; *К* — блок контроля кода; *У* — управляющее устройство; *ГТ* — генератор тактов.

При необходимости расширения объема передаваемой информации устройство переводится, например, на код C_8^3. Выбранный импульсный признак дает возможность использовать, как стартстопную, так и пошаговую синхронизацию.

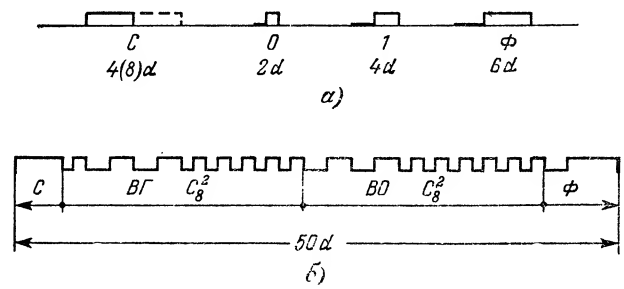


Рис. 33 Элементарные сигналы (*а*) и кодовые группы (*б*) в системе Ф-200.

ВГ — выбор группы; *ВО* — выбор объекта.

Для проверки передаваемых кодов используется комплектность кода и принятая попарность длительностей импульса и паузы при передаче состояний 0 и 1. Схема кодообразования обеспечивает надежное обнаружение до трех искажений на базе кода. Такая возможность создается выбранной избыточностью кодов.

Серия импульсов ТС состоит из стартового импульса *С*, кода адреса сигнализируемой группы (C_8^2 или C_8^3), последовательности импульсов, сигнализирующей о положении контролируемых объектов в виде распределительной передачи C_{18}^1 и импульса окончания сообщения *Ф*. Длительность всей серии зависит от соотношения числа включенных и отключенных объектов и составляет $(86 \pm 18)d$. Схема селекции импульсов по длительности исключает влияние импульсных помех длительностью меньше $0{,}7d$.

Для проверки правильности формирования кодовой последовательности C_8^2 она контролируется специальной схемой, не допускающей передачу в канал связи ложной последовательности, которая может возникнуть при одновременной передаче двух команд или при повреждении шифратора. В этом случае возникает служебный сигнал «ошибка на входе». На контролируемом пункте кроме проверки временных параметров импульсов и пауз, импульсного сочетания и синхронизма движения распределителей, контролируется число включенных выходных реле.

При передаче ТИ предусмотрено три возможных режима работы: циклический, однократная передача по вызову и передача с повторением. Для передачи ТИ вводятся специальные цифровые преобразователи. Каждое ТИ передается восьмиразрядным кодом, поэтому в каждой группе может передаваться два параметра ТИ и дополнительно два сообщения ТС. Для передачи интегральных величин на КП включаются специальные промежуточные счетчики. Через определенные интервалы или по запросу счетчики считываются и данные передаются на ДП.

Основная модификация устройства рассчитана на передачу 504 однопозиционных команд и телесигналов (28 групп по 18 команд в каждой). Увеличение количества команд достигается путем удвоения групп и увеличения числа объектов в следующих вариантах: 784 команды

(28 групп по 28 команд в каждой), или 1 008 команд (56 групп по 18 команд), или 1 568 команд (56 групп по 28 команд). Также увеличивается и число известительных однопозиционных сообщений, например до 1 008 (56 групп по 28 сигналов в каждой).

ГЛАВА ПЯТАЯ

СИСТЕМА С ИЕРАРХИЕЙ ТЕЛЕКОНТРОЛЯ И ТЕЛЕУПРАВЛЕНИЯ

14. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Система разработана институтами НИПИНефтехимавтомат, ИАТ (ТК) и ВНИИКАНефтегаз для телемеханизации крупных магистральных трубопроводов.

При разработке системы учитывалась существующая иерархия в структуре эксплуатационных служб. Круп-

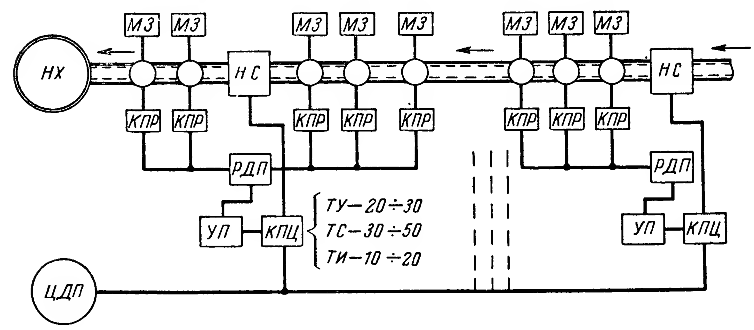


Рис. 34. Схема с иерархией телеконтроля и телеуправления трубопроводом.

НХ — нефтехранилище; *НС* — насосная станция; *МЗ* — местная защита.

ные трубопроводы разделяются на районы протяженностью до нескольких сотен километров. Районные диспетчерские службы (РДС) подчинены службе центрального диспетчера (ЦДС).

По требованиям заказчика система рассчитывается на трехступенчатое управление трубопроводом с двумя ступенями телемеханического управления. Функции первой ступени выполняют средства местной автоматики, второй — устройства телемеханики РДС и третьей — система телемеханики для ЦДС. Вместе с тем система телемеханики представляет собой единое целое с согласованной работой аппаратуры центральной и районной

служб. Одновременно с возможностью автономного управления в каждом районе устройства телемеханики позволяют управлять с центрального диспетчерского пункта как насосными станциями, так и линейными сооружениями, подчиненными непосредственно РДС. Упрощенная схема с устройствами телемеханики РДС и ЦДС представлена на рис. 34. На каждом диспетчерском пункте районной службы РДП устанавливается переходное устройство (УП) для согласования с устройствами телемеханики центральной службы.

Устройства ЦДС

1. Выполняемые функции: а) телеуправление двухпозиционными объектами; б) телесигнализация известительная и аварийная; в) телеизмерение давления, расхода; г) задание уставок телерегулирования в диапазоне 0—100%; д) обработка диспетчерских данных в цифровой форме и ретрансляция информации по запросу.

2. Емкость системы: а) количество КП — 10 (возможно увеличение до 16); б) максимальный объем операций на одном КП: ТУ — 12, ТС — 39, ТР — 1, ТИ — 12; в) максимально возможное суммарное количество объектов ТУ, ТС, ТР, ТИ в системе ЦДС (12+39+ +1+12)·16=1 024 объекта; г) максимальное суммарное количество объектов ТУ, ТС, ТИ, ТР в устройствах ЦДС и РДС 1 024+1 792=2 816.

3. Метод передачи сигналов ТУ, ТС и ТИ кодо-импульсный.

4. Канал связи — три телеграфных канала в верхней части диапазона частот телефонного канала для симплексной работы (в каждом направлении). Это позволяет использовать общий телефонный канал для одновременной работы системы телемеханики и служебной телефонной связи. Полоса пропускания каждого телеграфного канала 120 *гц*.

5. Дальность действия ограничивается каналом связи.

6. Скорость передачи 50 *бод*. Время выбора 0,46 *сек*, период циклического опроса 60 *сек*.

7. Режимы работы: а) циклический опрос насосных станций (ТС—ТИ); б) циклический опрос линейных объектов ТИ на трассе трубопровода в РДС; в) телеуправление насосными станциями и линейными объектами; г) задание уставок телерегулирования; д) режим ручной работы; е) аварийный опрос.

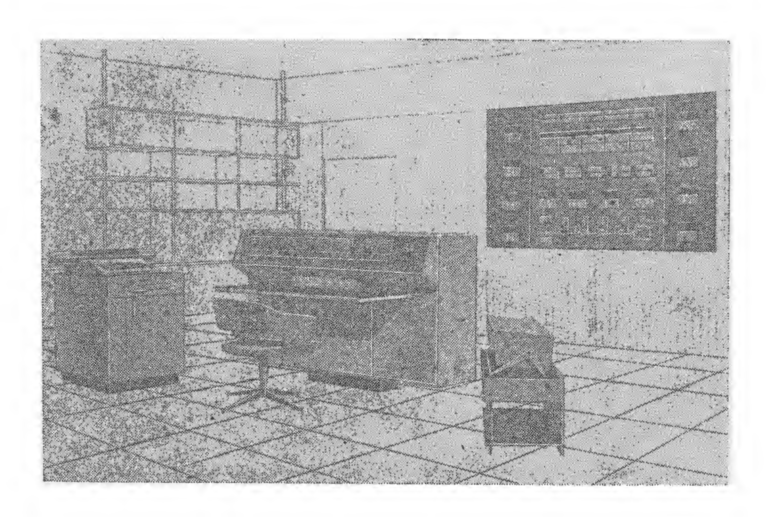


Рис. 35. Общий вид центрального диспетчерского пункта.

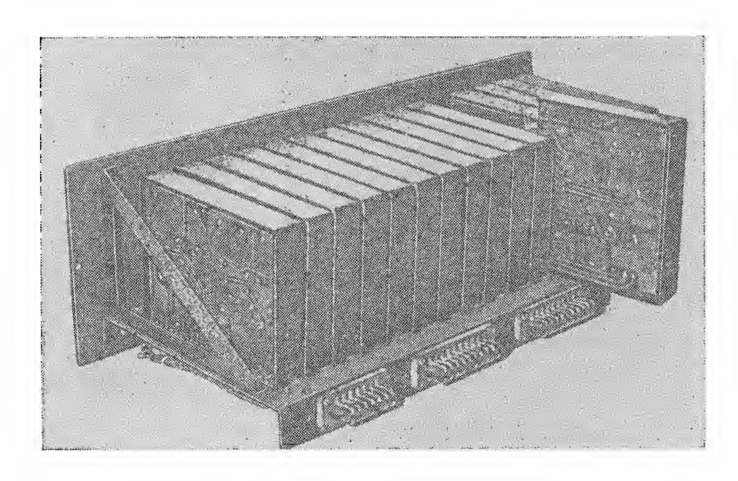


Рис. 36. Фотография типового блока с модулями.

8. Выходные устройства ЦДП обеспечивают цифровую индикацию, регистрацию и перфорационную фиксацию данных ТУ, ТС, ТИ на универсальном комплекте приборов (УКП) и индикацию данных ТУ — ТС на двух мнемосхемах.

9. Питание ДП и КП от сети переменного тока 220 *в* (синхронности сети не требуется). Потребляемая мощность ДП 500 *вт,* КП—5 *вт.* На КП предусмотрено резервное питание от аккумуляторов.

10. Помещения для аппаратуры ЦДП производственные с температурой в диапазоне 5—50° С.

11. Конструкция типовая блочная. Блоки состоят из типовых печатных схем логических и других элементов потенциально-импульсного типа. Общий вид центрального диспетчерского пункта представлен на рис. 35. Фотография типового блока с модулями приведена на рис. 36.

Устройство РДС

1. Выполняемые функции: а) телеуправление двухпозиционными объектами; б) телесигнализация о состоянии контролируемых объектов; в) телесигнализация отклонения за предельные значения параметров, которые заданы с РДП; г) телеизмерение давления; д) ретрансляция сигналов ТС—ТИ в двоичной форме для устройств ЦДС; е) телефонная связь по общему каналу связи во время перерывов в работе устройств телемеханики.

2. Емкость устройств: а) количество КП — 16 (восемь на одно направление); б) максимальный объем операций на одном КП : ТУ — 2 (однопозиционных), ТС — 3, ТИ — 1, телефонный вызов — 1; в) суммарное количество объектов устройства РДС (2+3+1+1) 16= =112.

3. Метод передачи: ТУ — ТС — частотно-временной код, ТИ — время-импульсный.

4. Канал связи — выделенная проводная воздушная или кабельная цепь 0—3 *кгц.* Допустимо использование типового телефонного канала магистральной связи 300—3 000 *гц.* В этом случае должно быть местное питание КП и отдельный канал для телефонной связи.

5. Дальность действия определяется перекрываемым затуханием, равным 3,6 *неп.* Мощность сигнала на выходе передатчика +0,6 *неп.*

6. Время выбора КП 0,2 *сек.* Время опроса датчика ТИ 2 *сек.* Время опроса КП 2,5 *сек.* Период циклического опроса 60 *сек.*

7. Режимы работы: а) циклический; б) ручная работа; в) работа с ЦДС.

8. Выходные устройства РДП имеют цифровую индикацию в абсолютных величинах (с масштабированием

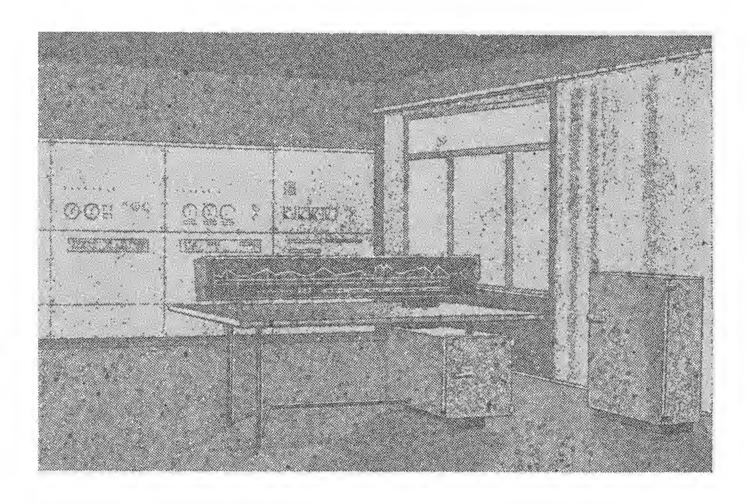


Рис. 37. Общий вид районного диспетчерского пункта.

шкал первичных приборов) и сопряжение с устройством ЦНИИКА для сигнализации отклонения параметров от заданных величин.

9. Питание ДП от сети переменного тока 220 *в.* Потребляемая мощность 150 *вт.* Питание КП централизованное по линии связи или местное (от сети переменного тока или от сухих батарей). Потребляемая мощность одним КП в ждущем режиме 0,36 *вт,* в режиме прием — передача 1,6 *вт.*

10. Помещение для аппаратуры РДП производственное с температурой 5—50° С. Аппаратура КП рассчитана на установку в боксах при окружающей температуре —30 ÷ +50° С.

11. Конструкция типовая блочная. Блоки состоят из типовых печатных схем логических и других элементов потенциально-импульсного типа и импульсных мостовых

элементов задержки [Л. 15]. Общий вид районного диспетчерского пункта дан на рис. 37.

Комплект аппаратуры ЦДС и РДС установлен на нефтепроводе Куйбышев — Брянск.

15. БЛОК-СХЕМА ЦДП

Упрощенная блок-схема центрального диспетчерского пункта приведена на рис. 38. Здесь: *ПУ* — пульт управления диспетчера: $У_1$ — группа блоков управления передачей и печатанием сигналов; *К* — группа блоков кодирования; *С* — группа блоков синхронизации; *Л* — группа

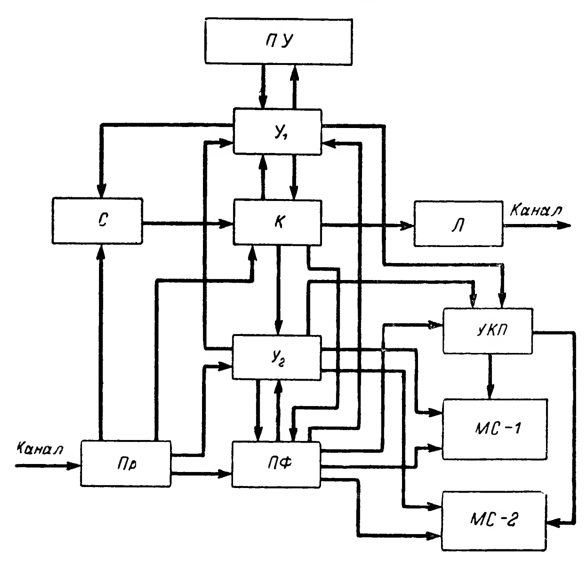


Рис. 38. Упрощенная блок-схема центрального диспетчерского пункта.

линейных блоков; *Пр* — группа приемных блоков; $У_2$ — группа блоков управления приемом и индикацией сигналов на мнемосхемах; *ПФ* — группа блоков «памяти» и формирования сигналов; *УКП* — универсальный комплект приборов индикации, регистрации и перфорационной фиксации данных; *МС-1* — мнемосхема для индикации важнейших данных о состоянии всех КП (положения управляемых объектов, вида управления объектами, аварийного состояния и задания уставок телерегулиро-

вания): *МС*-2 — мнемосхема для воспроизведения всей передаваемой информации *ТС—ТИ* с одного КП и более детальной информации *ТС — ТИ* с предыдущего и последующего КП. Информация на мнемосхеме *МС*-2 воспроизводится по желанию диспетчера или автоматически при аварийном состоянии данного КП.

Блоки управления ($У_1$) задают программу и режим работы всего ЦДП (циклический опрос, аварийный опрос, опрос одного КП, печать, обработка данных, ручной режим работы). С заданием программы начинают работать блоки синхронизации (*С*); вырабатывающие импульсы тактов и циклов. Коды вызываемых КП и объектов хранятся и вырабатываются в блоках кодирования (*К*). Передаваемые коды с адресом КП, объекта и текстом подаются в линейные блоки (*Л*) и далее в канал связи.

После окончания передачи сообщения ЦДП переходит в положение «прием» и открывает вход приемных блоков.

Квитанция вызова и квитанция уставки телерегулирования сравниваются в блоке кодов телеуправления. Данные ТИ, ТС и уставки телерегулирования (ТР) подаются в блок регистра и запоминаются для параллельного или последовательного считывания. В приемных блоках осуществляется проверка принимаемых кодовых групп на отсутствие искажений и вырабатывается сигнал о разрешении обработки данных. Данные ТИ—ТС—ТР подаются на универсальный комплект приборов *УКП*. На мнемосхему *МС-1* и *МС-2* информация передается непосредственно или после обработки в *УКП*.

Если приходит сигнал аварии, то ЦДП переводится в режим поиска аварии (аварийный опрос). Сигнал аварийного КП поступает одновременно в блок кодов КП и блок аварийного опроса. В режиме аварийного опроса отсутствие аварии или сигналы аварии с каждого КП запоминаются.

Все сообщения, передаваемые по каналу связи, состоят из циклов, которые в свою очередь состоят из тактов. В системе используется семь различных циклов работы. Количество тактов в цикле может быть не одинаковым. Такт представляет собой импульсную посылку и передает один разряд двоичного кода. Временные диаграммы сигналов в канале связи при различных режимах работы представлены на рис. 39.

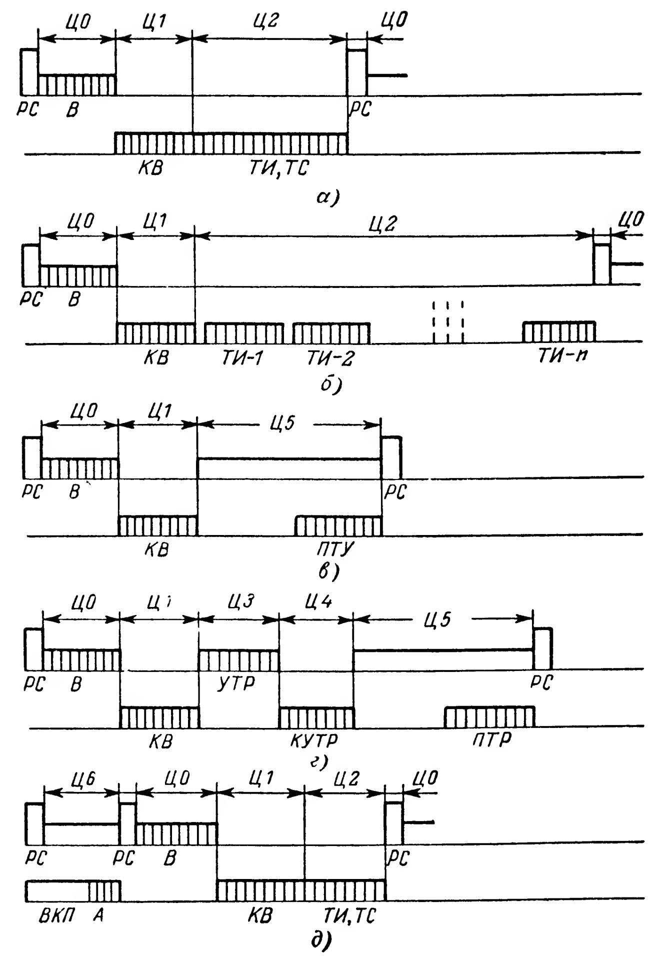


Рис. 39. Временные диаграммы сигналов в канале связи при различных режимах работы.

а — циклический опрос насосных станций (ТС, ТИ); *б* — циклический опрос линейных объектов (ТИ); *в* — телеуправление; *г* — задание уставки телерегулирования; *д* — аварийный опрос; *РС* — разделительный сигнал; *В* — вызов; *КВ* — квитанция вызова; *ТИ*, *ТС* — данные *ТИ*, *ТС*; *ПТУ* — подтверждение исполнения ТУ; *УТР* — уставка ТР; *КУТР* — квитанция уставки ТР; *ПТР* — подтверждение исполнения ТР; *ВКП* — вызов с КП; *А* — код аварии.

После разделительного сигнала *РС* с ДП передается нулевой цикл *Ц0* для вызова объектов. Он содержит адрес КП (четыре такта) и адрес объекта (пять тактов).

В первом цикле *Ц1* ДП принимает квитанцию вызова *КВ* также с адресом КП (четыре такта) и адресом объекта (пять тактов).

Во втором цикле *Ц2* ДП принимает данные ТИ и ТС вызванных объектов. Телеизмерение давления или расхода передается двумя декадами двоично-десятичного кода (восемь тактов). Восемь тактов занимают также данные ТС от восьми датчиков ТС. Телеизмерение количества нефти в резервуарах производится с точностью 0,1% (дискретность 0,1%) и занимает три декады двоично-десятичного кода (12 тактов).

В третьем цикле *Ц3* передается код уставки телерегулирования *УТР* с дискретностью 1% путем передачи двух декад двоично-десятичного кода (восемь тактов).

В четвертом цикле *Ц4* принимается квитанция уставки телерегулирования (*КУТР*), которая занимает восемь тактов.

В пятом цикле *Ц5* ДП посылает сигнал разрешения исполнения команды ТУ или ТР, который представляет собой длительную посылку на частоте $f_д$.

При исполнении команд ТУ или ТР с КП на ДП передается сигнал подтверждения исполнения в виде поочередной посылки двух частот f_1 и $f_д$ (*ПТУ* или *ПТР* — шахматку, состоящую из девяти тактов).

Шестой цикл *Ц6* возникает на ДП автоматически при получении сигнала вызова с аварийного КП (*ВКП*). В этом цикле передается разделительный сигнал и сигнал вызова ТС с аварийного КП и принимается код аварийного КП (*А* — четыре такта).

После окончания работы с объектом диспетчерский пункт вырабатывает сигнал разрешения обработки данных для вывода их на *УКП* и мнемосхемы; затем ДП устанавливается в «нулевое» положение. После окончания обработки данных на *УКП* вырабатывается сигнал разрешения выбора нового номера, который переводит ДП в режим опроса очередного объекта или останавливает программу.

Режимы опроса разделяются на циклические и индивидуальные. Во всех циклических режимах поочередно опрашиваются объекты всех включенных в цикл КП.

Включение в цикл осуществляется тумблерами, расположенными на передней панели блока кодирования.

На каждом КП контролируется аварийное состояние и выход параметров ТИ за заданные пределы. Эти пределы (уставки) задаются на УКП. При выходе параметра за заданные пределы на мнемосхеме загорается сигнальная лампа.

Группа блоков управления передачей и печатанием сигналов (блоки а, б и в). а) Блок программ управляет работой аппаратуры ДП в различных режимах. Он формирует вспомогательные импульсы — стробы, задания режимов опроса, управления печатью и обработкой данных, программой индикации режимов на пульте управления.

б) Блок управления предназначен для формирования на *УКП* номеров КП в десятичном коде, тактовых импульсов, потенциалов кодов ТИ, сигналов «разрешение обработки данных» и «сброс», выявления отказа *УКП* от опроса объектов ТИ на линии и вывода ТИ с *УКП* на мнемосхему *МС*-2.

в) Блок объектов предназначен для формирования на *УКП* номеров объектов в десятичном коде, вида объектов (ТУ, ТС, ТИ), характеристик объектов ТИ — ТР (параметры кода, масштаб и др.).

Группа блоков кодирования (*К*). а) Блок кодирования объектов выполняет функции хранения и формирования кодовых групп опрашиваемых объектов; выдачи сигналов объектов на пульт управления, *УКП* и в блоки управления режимом опроса каждого из объектов.

б) Блок кодирования КП служит для хранения и формирования кодовых групп, вызываемых КП, формирования кодов вызова, формирования сигналов «смена КП» и «смена объекта».

в) Блок кодов телерегулирования вырабатывает кодовые группы в соответствии с заданной уставкой ТР, сравнивает квитанцию ТР с переданным кодом.

Группа блоков синхронизации (*С*): а) Блок синхронизации *1* формирует тактовые импульсы, распределяет такты и циклы, формирует сигналы «конец цикла», «прием», «передача».

б) Блок синхронизации *2* управляет порядком следования циклов, считает линейные объекты ТИ и формирует сигналы: «последующий линейный датчик ТИ»,

«обработка данных», «исполнение команды ТУ — ТР».

в) Схема управления порядком следования циклов переключает распределитель циклов при различных режимах работы в соответствии с временной диаграммой.

Группа линейных блоков (*Л*): а) Блок передачи *1* преобразует импульсы постоянного тока в импульсы переменного тока с частотой 2 070, 2 250 и 2 430 *гц*. Усиленные сигналы поступают на соответствующие фильтры блока передачи *2*.

б) Блок передачи *2* ограничивает спектр сигналов, передаваемых в линию. Он состоит из трех однозвенных полосовых фильтров типа К. Выходы всех фильтров включены параллельно. Сигналы после фильтров подаются на входной блок и далее в канал связи.

в) Входной блок служит для разделения рабочего спектра частот телемеханики и служебной телефонной связи. Он имеет телефонные фильтры передачи и приема с полосой пропускания до 1 900 *гц*.

Группа приемных блоков (*Пр*): а) Блок приема *1* разделяет по частоте сигналы, приходящие из канала связи. Для этого служат полуторазвенные полосовые фильтры типа К. Входы фильтров параллельны и через входной блок подключены к каналу связи.

б) Блок приема *2* включен на выходе блока приема *1* и служит для преобразования импульсов переменного тока в импульсы постоянного тока.

Группа блоков управления приемом и индикацией сигналов на мнемосхемах ($У_2$): а) Блок программ имеет:

1 — входной преобразователь; *2* — устройство обнаружения аварии в виде накопителя, принимающего продолжительный сигнал на частоте $f_д$; *3* — формирователь разделительного сигнала; *4* — устройство защиты от искажения принимаемых сигналов, вырабатывающее сигнал при подавлении импульса или одновременном приеме двух частот; *5* — формирователь импульсов «сбой» от сигналов несовпадения кодов ТИ и вызова ТР, «сбой ТУ—ТР», «отказ линейных объектов ТИ», «наличие двух частот», «пропадение посылки» и «отсутствие вызова КП»; *6* — счетчик сбоев, подающий сигнал «второй сбой» в блок программ для остановки программы; *7* — схему управления периодом печати, устанавливающую цикл печати 1—2 *ч*.

б) Блок управления *1* выполняет функции выбора объектов сигнализации, подключаемых к мнемосхеме *МС-1*; управления индикацией информации на мнемосхемах *МС-1* и *МС-2*; запоминания сигналов «конец ТУ — ТР», «отказ вызова», «отказ поиска» и «предельное значение *ТИ*».

в) Блок управления *2* служит для выбора объектов индикации ТИ и ТС на мнемосхеме *МС-2*, преобразования данных ТИ, поступающих с *УКП* в семиричный код для цифровых индикаторов.

Группа блоков памяти и формирования сигналов (*ПФ*): а) Блок памяти аварии служит для запоминания номеров КП, на которых есть хотя бы один замкнутый контакт аварийной сигнализации. Кроме того, блок задает уставку телерегулирования в десятичной форме (десятки и единицы).

б) Блок аварийного опроса запоминает номер аварийного КП на все время аварийного опроса, формирует сигнал «левое КП», «центральное КП», «правое КП», выполняет функции индикации опрашиваемого КП на мнемосхеме *МС-1* и индикации номера КП на мнемосхеме *МС*-2.

в) Блок регистра служит для запоминания кодов ТИ, ТС и квитанции передаваемой с КП уставки ТР, для считывания передаваемой на *УКП* информации и для управления реле в блоках запоминания ТС на мнемосхемах *МС-1* и *МС-2*.

Коды ТИ, ТС или уставки ТР подаются на регистр сдвига, работающий на восьми триггерах.

Универсальный комплект приборов (*УКП*) служит для обработки, регистрации, индикации и перфорационной фиксации данных. Он выполняет следующие функции: 1) приводит сигналы к цифровому виду; 2) обрабатывает данные ТИ (перекодирование) для получения результатов измерений в абсолютных единицах; 3) выполняет математические действия (суммирование, умножение, деление) для вычисления определенных показателей контролируемого объекта; 4) сравнивает телеизмеряемые величины с уставками предельных значений; 5) выполняет цифропечатание данных ТИ, состояние контролируемых объектов, действий диспетчера, адресов передатчика и приемника, информации и времени передачи; 6) дает цифровую индикацию результатов обработки данных на световом табло; 7) осуществляет на-

копление данных на перфоленте; 8) ретранслирует данные с перфоленты по запросу с другого пункта управления.

16. КОНТРОЛИРУЕМЫЙ ПУНКТ ЦДС

Аппаратура контролируемого пункта принимает, расшифровывает и отвечает на команды и запросы ТУ, ТР, ТС, ТИ, ретранслирует информацию ТИ, передаваемую между ЦДП и линейными объектами на трассе трубопровода и формирует сигналы предупредительной и аварийной телесигнализации.

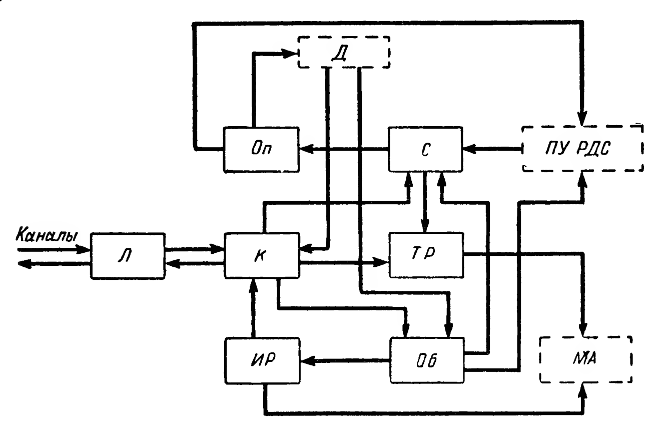


Рис. 40. Блок-схема контролируемого пункта ЦДС.

Л — линейный блок; *К* — блок кодирования; *С* — блок синхронизации; *Об* — блок объектов; *ИР* — блок исполнительных реле; *Оп* — блок опроса; *ТР* — блок телерегулирования; *МА* — блок местной автоматики; *ПУ РДС* — пульт управления районного диспетчера; *Д* — датчики ТИ, ТС.

Все передаваемые с ЦДП сообщения начинаются с разделительного сигнала (*РС*), переводящего все КП в режим приема (см. рис. 39).

При телеуправлении вызов с ЦДП передается в нулевом цикле. Он содержит адрес и номер объекта (*Ц0* на рис. 39). Вызов записывается в регистре кодов блока кодирования *К* (рис. 40). В первом цикле (*Ц1*) с КП передается квитанция вызова. К началу пятого цикла с регистра (блок *К*) код передан на дешифратор и КП готов к приему сигнала разрешения.

На выходе дешифратора включена группа ключей, которые могут воздействовать на исполнительные реле (блок *ИР*). Выбранное исполнительное реле не вклю-

чается до прихода с ЦДП сигнала разрешения исполнения. При приходе этого сигнала открывается общий ключ ТУ, подающий питание на выходные ключи. Открывается тот из них, на вход которого подан импульс с дешифратора кодов, срабатывает соответствующее реле исполнения и своим замыкающим контактом выдает команду в блок местной автоматики (*МА*).

Если объекты или КП выбраны неверно, то ЦДП передает не сигнал разрешения, а команду сброса. Сигнал разрешения исполнения передается на дополнительной частоте. При передаче этого сигнала реле исполнения включено и одним из своих замыкающих контактов включает цепь для передачи на ЦДП квитанции исполнения в виде поочередной передачи двух частот (*ПТУ* на рис. 39,*в*).

При телеизмерении данные ТИ передаются двоично-десятичным кодом во втором цикле (*Ц2* на рис. 39,*а*, *б*). В схему КП заложено две программы: опрос датчиков ТИ насосной станции и опрос линейных датчиков ТИ на трассе трубопровода. По первой программе каждый датчик ТИ выбирается индивидуально. Вторая программа включается автоматически при выборе объекта, названного «опрос линейных ТИ», и сигнал передается на пульт управления РДС, который при этом служит ретранслятором. В блоке опроса *ОП* вырабатывается сигнал опроса линейных датчиков на трассе, и КП ЦДС переводится в заданный режим. После приема с КП РДС и перекодирования данных ТИ на КП ЦДС вырабатывается сигнал разрешения ретрансляции этих данных на ЦДП.

Телесигнализация передается группами от восьми датчиков *ТС* в каждой (рис. 39,*а* и *б*). Уставка телерегулирования передается двоично-десятичным кодом в третьем цикле (*Ц3* на рис. 39,*г*) и занимает восемь тактов. Число точек регулирования равно 100. Преобразование в аналоговую форму осуществляется в блоке *ТР* (рис. 40).

Срочная телесигнализация с КП (аварийный и предупредительный сигнал) передается автоматически с помощью контактного датчика ТС, который переводит КП в режим срочной сигнализации. При этом КП передает общий сигнал аварии, но адрес КП передается только после подтверждения с ДП о приеме аварии и разрешении посылки адреса аварии. Сигнал разрешения со-

стоит из разделительного сигнала (РС), по которому все КП, кроме аварийного, прекращают передачу и устанавливаются в режим приема. За разделительным сигналом следует длительная посылка на одной частоте, в течение которой аварийный КП начинает передачу своего адреса (рис. 39,*д*). Адрес аварии состоит из номера КП, кода датчика (объекта) и сигналов состояния этого датчика.

17. РАЙОННЫЙ ДИСПЕТЧЕРСКИЙ ПУНКТ (РДП)

Аппаратура РДП имеет два режима:

1) Работа с ЦДП.

2) Работа с местным диспетчером.

Во всех случаях приоритет имеет местный диспетчер. Сигналы ТУ, ТС передаются частотно-временным ко-

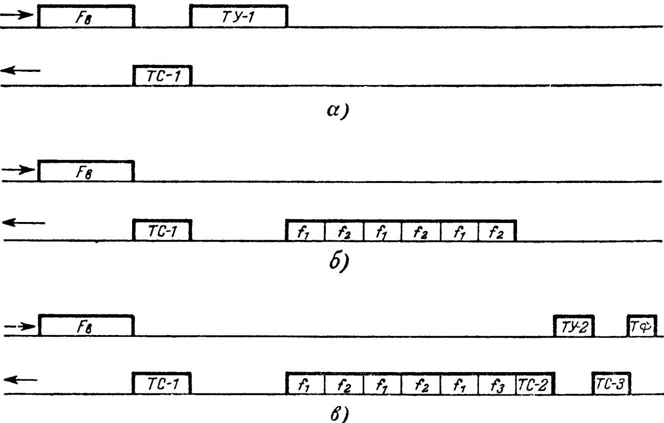


Рис. 41. Временные диаграммы работы РДП и линейного КП.

а — телеуправление; *б* — телеизмерение; *в* — вызов объектов; $F_в$ — одна из восьми индивидуальных вызывных частот (избирание КП).

дом. Избирание КП — частотное (на индивидуальных частотах), а при ответе КП, каждому объекту на КП присвоена своя временная позиция. Временные диаграммы для РДП и линейного КП описаны ниже и приведены на рис. 41. В связи с ограниченными ресурсами источников питания на линейных КП использованы время — импульсные устройства телеизмерений.

Упрощенная блок-схема районного диспетчерского пункта приведена на рис. 42.

Два линейных блока, показанные на схеме как один блок *Л*, выполняют функции: грозозащиты, переключения двух линий (которые подходят к РДП с двух направлений трассы трубопровода), согласования линий с приемными блоками и дистанционного питания контролируемых пунктов. Два блока приема, показанные на схеме как один блок *Пр*, служат для разделения по ча-

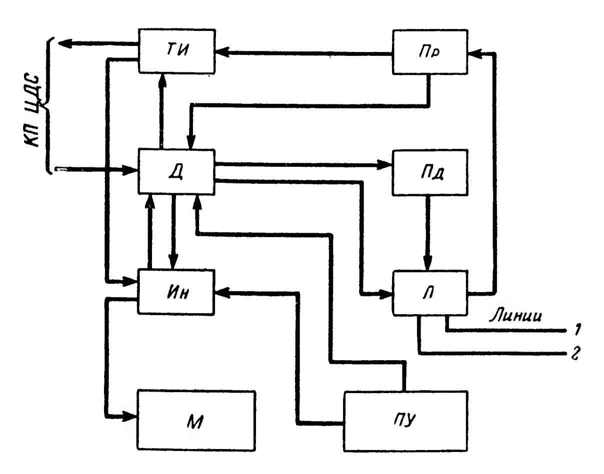


Рис. 42. Упрощенная блок-схема РДП.

стоте сигналов, приходящих из канала связи, и для преобразования импульсов переменного тока в импульсы постоянного тока. Частотными избирателями являются полуторазвенные полосовые фильтры типа К. Сигналы с выхода фильтров усиливаются, детектируются и формируются.

Два блока передачи, показанные на рис. 42 как один блок *Пд*, служат для преобразования импульсов постоянного тока отрицательной полярности в импульсы переменного тока на фиксированных частотах, которые посылаются в линию связи.

Два блока приема телеизмерения (*ТИ*) выполняют функции приема время-импульсных сигналов *ТИ* с КП на трассе трубопровода, преобразования этих сигналов в двоично-десятичный код для посылки его на ЦДП. Производится также перекодирование в код, необходимый для цифровых индикаторов. Кроме того, блоки *ТИ* формируют сигналы для ретрансляции их на КП ЦДС.

Два блока диспетчерского пульта (*Д*) выполняют следующие функции: 1) выбор КП при ручных и циклических операциях; 2) формирование импульсов выбора КП и операций ТУ телефонного вызова; 3) формирование импульсов конца работы КП; 4) запоминания общего состояния ТС задвижек по каждой из двух линий связи; 5) формирование сигналов вызова циклического ТУ по 1-й и 2-й линиям связи; 6) прием сигналов ТС; 7) счет операций; 8) управление телеизмерением; 9) формирование сигнала «сбой»; 11) управление переключением линий.

Блок индикации *ИН* состоит из трех самостоятельных частей цифровой логики: индикации состояния, установки нулевого состояния всех активных элементов и счетчиков блока телеизмерения.

Пульт управления *ПУ* служит для управления и формирования программ самим диспетчером. Он имеет соответствующие кнопки, индикаторные лампы и цифровые индикаторы.

Мнемосхема *М* отображает трассу трубопровода с расположенными на ней линейными контролируемыми пунктами. Общий вид диспетчерского пункта РДС приведен на рис. 37.

18. КОНТРОЛИРУЕМЫЙ ПУНКТ РДС

Блок-схема линейного контролируемого пункта приведена на рис. 43.

Линейный блок *Л* служит для согласования блоков приема и передачи с линией связи, для грозозащиты и для дистанционного питания аппаратуры КП с диспетчерского пункта через линию связи.

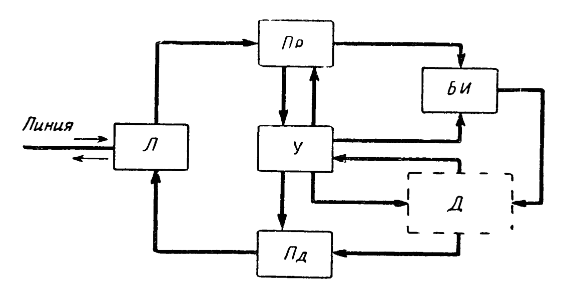


Рис. 43. Блок-схема линейного контролируемого пункта РДС.

Блок приема *Пр* выполняет функции выделения частоты, присвоенный данному КП, преобразования импульсов переменного тока с рабочей частотой данного КП в импульсы постоянного тока, разделения импульсов по длительности с помощью временных селекторов и запуска привода датчиков телеизмерения. При этом сигналы с линейного блока проходят через полосовой фильтр, пропускающий только частоту, присвоенную данному КП. Для запуска привода датчика служит генератор, работающий на фиксированной частоте 50 *гц*.

Блок передачи *Пд* выполняет функции преобразования импульсов постоянного тока в импульсы переменного тока с фиксированными частотами f_1, f_2 и f_3. При подаче напряжения питания возбуждаются генераторы, однако сигналы рабочих частот подаются на усилитель через ключевые схемы, которые открываются поочередно, сигналами, приходящими из блока управления *У*.

Блок управления *У* выполняет основные логические операции, необходимые для контроля выбора данного

Таблица 7

№ позиции распределителя	Обозначение операции	Наименование операции	Частота в линии связи	Номинальная длительность операции, *мсек*
0	0	Защита от срабатывания других элементов распределителя	—	200
1	ТС-1	Сигнализация состояния задвижки: „открыта" „закрыта"	f_1, f_2	80
2	ТУ-1	Закрыть задвижку	$F_в$	160
3	ТИ	Измерение давления	f_1, f_2	до 2 000
4	„Р"	Посылка разделительного сигнала	f_3	80
5	ТС-2	Сигнализация состояния дренажной установки: „исправна" „неисправна"	f_1, f_2	80
6	ТУ-2	Открыть задвижку	$F_в$	160
7	ТС-3	Сигнализация прохождения скребка: „прошел" „не прошел"	f_1, f_2	80
8	ТФ	Телефонный вызов		По желанию диспетчера

КП, последовательного опроса объектов КП и для защиты операций ТУ от ложного исполнения.

В момент включения напряжения питания запускается распределитель на элементах задержки и последовательно опрашивает датчики ТС и ТИ. На временной позиции ТИ распределитель останавливается под воздействием обратной связи от датчика ТИ, и в линию посылается импульс «начало ТИ». Датчик ТИ манипулирует генераторами с частотами f_1 и f_2 (рис. 41,*б*, *в*). На частоте f_2 передается импульс, длительность которого пропорциональна телеизмеряемому параметру. В момент окончания этого импульса частота f_2 сменяется частотой f_1. После окончания телеизмерения вырабатывается импульс, сдвигающий распределитель на следующую позицию, и в линию передается частота f_3 для синхронизации с ДП. Далее продолжается работа распределителя до последней позиции «телефонный вызов» (*ТФ*) в соответствии с табл. 7. После этого отключается централизованное питание, подаваемое в линию.

Исполнительный блок *БИ* служит для выполнения основных и вспомогательных команд, поступающих с блока управления *У*. Датчики ТИ, ТС на рис. 43 изображены в виде блока *Д*.

ГЛАВА ШЕСТАЯ

ИЕРАРХИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ И В НЕФТЕДОБЫЧЕ

19. ЦЕНТРАЛИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ

В первой главе были приведены данные о больших масштабах телемеханизации энергетических объектов на электрифицированных железных дорогах. На ряде дорог с напряженным графиком движения поездов телеуправление объектами электроснабжения уже сейчас производится из районных диспетчерских пунктов на всем протяжении железной дороги.

Координация действий районных энергодиспетчеров в пределах дороги выполняется центральным диспетчером с помощью телефонной связи. Такая координация оказывается не достаточно эффективной при организации резервного питания, авариях и др. операциях особенно на дорогах с радиальной структурой и напряженным графиком, что приводит к задержкам в движении поездов.

Возрастающая интенсивность движения привела к необходимости повышения оперативности центрального электродиспетчера путем автоматической передачи ему информации контроля (ТС) с подчиненных РДП (диспетчерских кругов) и предоставления главному диспетчеру возможности телеуправления некоторыми объек-

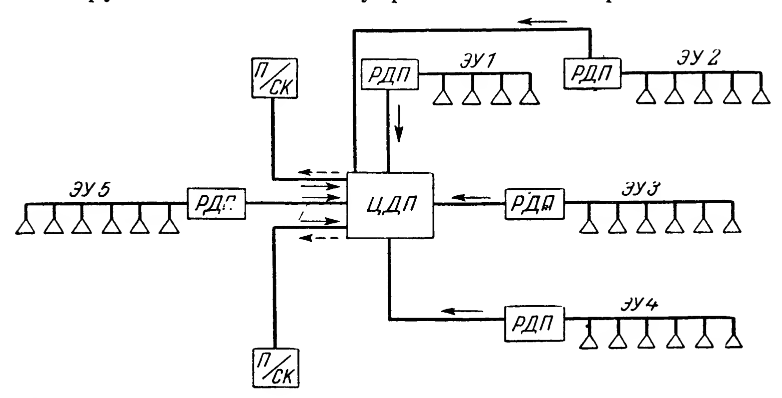


Рис. 44. Схема централизованной системы управления объектами энергоснабжения железной дороги.
ЭУ — электрифицированный участок.

тами энергоснабжения. В связи с этим наметился переход к системам телемеханики с иерархией управления. Схема такой централизованной системы, внедряемой на Московской железной дороге приведена на рис. 44. Система включает в себя большое число телемеханизированных кругов (районов), где устройства телемеханики эксплуатируются уже в течение ряда лет.

Главный энергодиспетчер получает информацию ТС и в случае необходимости включает резервные перемычки энергопитания (*П/СК*) или направляет передвижные тяговые подстанции. Радиальная структура Московской железной дороги упрощает организацию резервного питания участков контактной сети одного направления от тяговых подстанций других направлений дороги.

Рассмотрим характерные особенности системы.

На ЦДП Московской железной дороги установлен щит с мнемонической схемой, воспроизводящий сигналы с участков дороги. Мнемосхема щита выполнена из люминофоров, имитирующих контактную сеть главных путей. При выключении напряжения на участке кон-

тактной сети передается сигнал ТС, и на соответствующем участке мнемосхемы щита ЦДП загорается люминофорная полоса. Кроме того предусмотрена передача сигналов ТС о положении высоковольтных вводов с каждой тяговой подстанции, сигнализирующая о подаче напряжения с высоковольтной стороны. С важнейших подстанций передаются сигналы о положении тяговых агрегатов, а с каждой подстанции — общий аварийный сигнал.

Сигналы ТС с участков контактной сети и подстанций, непосредственно подчиненных РДП, передаются на ЦДП с помощью специальных устройств ретрансляции. На каждом районном диспетчерском пункте устанавливается передающее устройство ретрансляции, а на ЦДП — приемное устройство ретрансляции, по одному для каждого РДП. В передающем устройстве ретрансляции на РДП производится сбор и ретрансляция сигналов с разных контролируемых пунктов. Устройства ретрансляции выполнены на бесконтактных элементах. Кодирование и декодирование сигналов при ретрансляции производится с помощью типовых блоков, применяемых для телесигнализации в системе ЭСТ-62. В случае ретрансляции сигналов с РДП, оборудованного ранее разработанным релейно-контактным устройством телемеханики, на диспетчерском пункте устанавливается типовой шкаф аппаратуры телесигнализации КП системы ЭСТ-62. Следует заметить, что уже сейчас на большинстве РДП установлены бесконтактные системы телемеханики с бесконтактными исполнительными элементами телесигнализации на диспетчерском пункте.

Для переключения резервных перемычек контактной сети, которыми управляет главный энергодиспетчер, ЦДП оборудуется передающими устройствами, а контролируемые пункты — приемными устройствами телеуправления.

ЦДП, кроме того, оборудован телефонной связью с районными диспетчерскими пунктами и важнейшими объектами энергоснабжения.

20. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕДИНЕНИЕМ НЕФТЕПРОМЫСЛОВ

Широкое внедрение телемеханизации в нефтедобыче создало условия для перестройки и укрупнения организационной структуры управления промыслом.

Крупные нефтяные месторождения в настоящее время имеют несколько соседних телемеханизированных нефтепромыслов. Соседние нефтепромыслы имеют общее административное подчинение. При этом ряд важных объектов добычи нефти не подчинен промыслам и в ряде случаев не телемеханизирован (станции обезвоживания, обессоливания, нефтехранилища, соединительные трубопроводы и т. п.).

Было установлено, что для объединений нефтепромыслов экономически целесообразно автоматизировать ряд новых операций контроля и управления, связанных со сбором, передачей и обработкой производственно-статистической информации о дебите и потерях нефти, нефтепродуктов, основных трудовых и материальных затратах. Становится также целесообразным централизованный сбор, передача и обработка геофизической информации о давлении нефтеносных пластов, скорости движения нефти в пласте, добыче нефти и содержании в ней воды и т. п.

Работы, выполненные в НИПИ Нефтехимавтомат показали экономическую целесообразность организации ЦДП для объединения нефтепромыслов с непосредственным подчинением центральному диспетчеру не только РДП промыслов, но и ряда межпромысловых объектов, обслуживающих несколько нефтепромыслов (нефтехранилища, трубопроводы, станции первичной обработки нефти и др.).

На ЦДП средствами телемеханики и связи должна передаваться информация с РДП и межпромысловых объектов. Кроме того, центральный диспетчер должен иметь средства телеуправления межпромысловыми объектами.

Для обработки большого объема информации, поступающей на ЦДП, становится целесообразным применение электронной цифровой вычислительной машины. Однако по меньшей мере на первых этапах ЭЦВМ следует использовать только для обработки производственно-статистической информации, для бухгалтерских расчетов, геофизических вычислений, расчета оптимальных режимов и экономических исследований.

Оперативное управление всеми объектами нефтедобычи целесообразно выполнять районными и центральным диспетчерам, так как оперативная информация в нефтедобыче весьма разнообразна, что затрудняет ее

аналитическое описание и формализацию (например, информация, связанная с ремонтными и профилактическими работами). Это затрудняет широкое применение ЭЦВМ для оперативного управления объектами нефтедобычи. В то же время объем оперативной информации сравнительно невелик, и функции оперативного управления промыслом на всем обозримом будущем, по-видимому, может выполнять диспетчер.

Иерархическая система управления нефтепромыслами внедрена на Бакинских промыслах в 1965—1966 г. В ближайшее время намечается создание подобных иерархических систем и в других нефтедобывающих районах Советского Союза.

ГЛАВА СЕДЬМАЯ

О ДАЛЬНЕЙШЕМ РАЗВИТИИ СИСТЕМ ТЕЛЕМЕХАНИКИ

21. ВАЖНЕЙШИЕ НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕЛЕМЕХАНИКИ

В телемеханике изучаются процессы и методы передачи команд управления (ТУ) и автоматической передачи сообщений об объектах управления (ТИ, ТС), а также структуры и технические средства. Специфика ТУ, ТС, ТИ вызвана совокупностью характерных особенностей телемеханики, обусловленных спецификой информации управления, ее выделением, сбором, передачей и воспроизведением, а также особенностями структур и технических средств телемеханики. Специально организуемые в телемеханике проводные и радиоканалы, каналы по линиям электропередач или представляемые сетью связи типовые телефонные и телеграфные каналы обычно используются для уплотнения и организации в них ряда более узкополосных каналов телеизмерения, телеуправления и телесигнализации. Особенности информации управления приводят к специфическим методам ее передачи (двойные и тройные виды модуляции, дискретно-разностные методы, небинарные коды, адресные методы передачи с квитированием и др.).

Во многих системах с увеличением количества передаваемой информации (ТУ, ТС, ТИ) возрастает эффективность управления из-за лучшей реализации идеального алгоритма управления (трубопроводы, энергоси-

стемы, ирригация и т. п.). Одновременно с этим возрастает стоимость передачи информации и увеличиваются потери от ненадежности устройств передачи информации. Следовательно, возникает проблема оптимальной реализации алгоритма управления с точки зрения передачи информации, сводящаяся к оптимизации количества передаваемой информации, а в некоторых частых случаях — к оптимизации точности телеизмерений. Это иллюстрирует рис. 45. Решение проблемы требует комплексного подхода, а значение ее возрастет с усложнением систем и с переходом к крупным системам с многоступенчатым управлением. Методы оптимизации объема передаваемой информации в настоящее время только начинают разрабатываться.

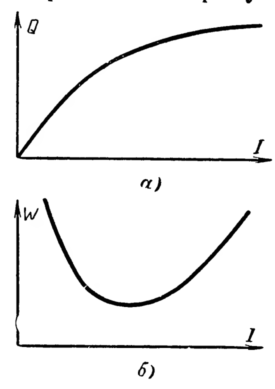


Рис. 45. Зависимость эффективности управления Q и экономических потерь W от количества информации I о работе системы.

Создание систем для рассредоточенных объектов и комплексных систем телемеханики привело к усложнению структур. Возникли задачи по оптимизации соединительных сетей для многих рассредоточенных объектов при централизованной структуре системы телемеханики, по выбору способов подключения контролируемых пунктов к общему каналу связи, по выбору структурной избыточности для повышения надежности и т. д. Рис. 46 иллюстрирует рост максимальной емкости систем телемеханики.

С усложнением систем телемеханики возникла также более общая проблема оптимизации информационной структуры системы телемеханики. Значимость этой проблемы возрастает с переходом к системам телемеханики большой емкости с многоступенчатым управлением.

Одна из основных проблем, возникающих в телемеханике, это проблема оптимального кодирования. Главным образом из-за недопустимости большого запаздывания при передаче оперативной информации управления возникает новая постановка задачи оптимального кодирования, отличная от существующей в теории информации.

Основное внимание в теории информации уделяется построению кодов, реализующих пропускную способность канала связи обычно с помощью кодирования достаточно длинных последовательностей сообщений. В телемеханике обычно ограничено допустимое запаздывание и энергия сигнала. При этом принципиально нельзя реализовать пропускную способность канала, также как

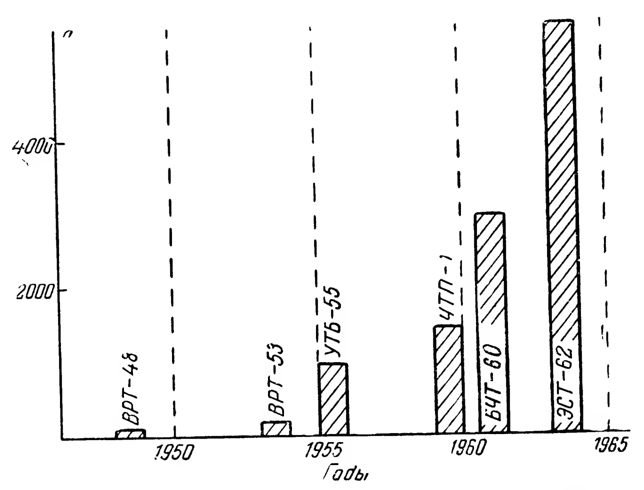


Рис. 46. Максимальная емкость выпущенных в СССР промышленных систем телемеханики.

n — максимальное число сообщений (в однопозиционном исчислении).

нельзя обеспечить отсутствие ошибки при однократной передаче информации. Основное внимание поэтому уделяется построению кодов и способов передачи, которые при заданном максимально допустимом запаздывании, количестве передаваемой информации и некоторых ограничениях на сигнал, обеспечивают минимальные потери с учетом влияния различных искажений информации на процесс управления.

Неравномерность различных искажений и специфика адресных сообщений также приводят к новым решениям задачи оптимального кодирования.

Большое влияние на выбор способа кодирования информации оказывает наличие обратных связей, замыкающихся через управляемый объект. В связи с этим весьма важно решение проблемы оптимального кодиро-

вания информации управления с учетом ее характерных особенностей.

В настоящее время в теории передачи информации управления сформулированы основные проблемы, рассмотрены особенности информации управления, разработаны критерии оценки помехоустойчивости и эффективности передачи и комплексные критерии оценки систем передачи информации. Развита теория помехоустойчивости и эффективности передачи при флуктуационных помехах. Выполнен ряд работ по помехоустойчивости при импульсных помехах.

Несмотря на значительные успехи, проблема оптимального кодирования в системах с ограниченным запаздыванием не решена окончательно даже для флуктуационных помех, а реальные помехи мало изучены. При этом выбор оптимального кодирования зависит от характеристик реальных помех, а следовательно задачи оптимального кодирования по существу еще не решены. Не изучено влияние замкнутости систем управления на выбор способа передачи, только начаты исследования передачи информации в сложных телеавтоматических системах с вычислительными и управляющими машинами. Недостаточно исследована статистика и семантика сообщений в системах управления, аппаратурная надежность различных кодирующих и декодирующих устройств. Новые задачи возникают при выборе методов передачи информации в иерархических системах большой емкости. Здесь широко начинают использоваться методы теории массового обслуживания и другие статистические методы исследования.

В сложной многоступенчатой системе на отдельных ее ступенях различны условия, а также скорость, объем и требования к достоверности передачи информации. Методы передачи, оптимальные для системы в целом, могут отличаться от методов, оптимальных для отдельных ступеней, если рассматривать их раздельно. В связи с этим возникает проблема оптимального кодирования для сложных систем в целом.

Одно из важных направлений телемеханики — изучение возможности использования избыточности сообщений для повышения эффективности и помехоустойчивости передачи. В настоящее время разрабатывается ряд методов использования избыточности сообщений. Один из них — метод статистического кодирования по множе-

ству объектов (источников информации) позволяет сузить полосу частот, а в сочетании с обратным каналом повысить помехоустойчивость. Задержка передачи информации по времени при таком кодировании возникает редко и тем реже, чем больше избыточность сообщений. Частный случай статистического кодирования по множеству объектов есть адресная передача, широко применяемая в телемеханике.

Избыточность сообщений при телеизмерениях может использоваться для оптимального нелинейного преобразования параметра до передачи по каналу связи с помехами. Разработан также ряд методов, использующих временные зависимости измеряемых параметров: метод стробирования по времени при время-импульсной модуляции: по частоте при частотной модуляции; методы, сочетающие обнаружение ошибки с запоминанием предыдущего значения, и ряд других.

Интересен подход к системам ТИ, как к системам с переменной точностью и быстродействием. Системы телеизмерений обычно рассчитываются при максимальной скорости на заданную максимальную точность. Однако известно, что как оператор, так и управляющая машина, имеют ограниченную скорость переработки информации (восприятия). В связи с этим возникла идея построения систем передачи информации телеизмерений с высокой точностью при медленных изменениях параметра и с низкой точностью при быстрых изменениях.

Системы с автоматически изменяющейся точностью, автоматическим обменом точности на быстродействие, прием со следящей частотой настройки, следящими порогами и ряд других относятся к классу адаптивных систем передачи информации.

Методы адаптации широко используются в живых организмах. В технике передачи информации эти методы начали применяться сравнительно недавно. Учитывая это, построение адаптивных систем телемеханики может быть отнесено к многообещающим задачам.

С укрупнением систем телемеханики и возрастанием суммарного количества сигналов ТУ, ТС и ТИ значительно увеличивается число возможных способов реализации и разнообразие требований к системам телемеханики. По-существу, как нет двух одинаковых крупных объектов телемеханизации, так практически не может быть и одинаковых крупных систем телемеханики с оди-

наковым числом контролируемых пунктов с одними и теми же сигналами ТУ, ТС и ТИ на каждом КП. Соответственно, не реально требовать, чтобы проекты телемеханизации крупных комплексов были бы одинаковыми. Все это затрудняет промышленное производство аппаратуры телемеханики и выдвигает как первоочередную задачу разработку рациональных принципов унификации кодов, каналов связи, сигналов, входов и выходов аппаратуры, а также унификации элементов, блоков, конструкций, структуры систем и требований к аппаратуре. Научно обоснованный выбор принципов такой унификации весьма важная проблема современной телемеханики.

Актуальность этой проблемы возрастает в связи с целесообразностью проведения исследований по оптимизации принципов построения взаимосвязанного унифицированного комплекса устройств телемеханики на элементах Государственной системы приборов (ГСП) для производства на заводах отрасли и удовлетворения нужд основных потребителей в аппаратуре.

22. НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПОСТРОЕНИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Необходимость разгрузки оператора-диспетчера возрастает с укрупнением системы телемеханики. Для облегчения его работы на пункте управления устанавливаются специальные устройства телеавтоматического опроса и контроля объектов, сигнализирующие нарушение заданного режима (циклический опрос); устройства телеавтоматического задания режима автоматическим регуляторам и автоматам на КП;

устройства для вычисления сводных параметров, моделирования и оптимизации процесса и т. п. Эти устройства обработки информации берут на себя часть функций оператора, что позволяет ему сосредоточить внимание на решении более сложных задач управления, трудно поддающихся аналитическому описанию и формализации.

В системах централизованного контроля, системах телемеханики для трубопроводов и ирригации широко применяются устройства циклического опроса. В энергосистемах и других отраслях накапливается опыт применения цифровых вычислительных машин для контро-

ля и управления. Во многих районах автоматизированы источники электроэнергии, причем одновременно решаются задачи регулирования и экономически целесообразного распределения нагрузок при учете работы системы в целом.

Цифровые вычислительные машины вначале используются как «советчики». На их входы подается информация телеизмерения и телесигнализации с местных объектов, а также команды телеуправления, передаваемые оператором. В соответствии с выбранными алгоритмами машина производит вычислительные и логические операции и определяет оптимальный режим работы управляемой системы. Полученные результаты используются оператором при передаче команд местным объектам с помощью средств телемеханики или средств связи.

В режиме «советчика» в США и в Советском Союзе работает ряд вычислительных машин в энергосистемах, на трубопроводах, на предприятиях химической промышленности, в металлургии. По литературным данным, установка цифровых вычислительных машин для управления производственными процессами дала значительный экономический эффект за счет повышения эффективности управления. Это увеличило производительность всего управляемого комплекса, уменьшило потери и непроизводительные затраты в энергосистемах и на трубопроводах.

После накопления достаточного опыта эксплуатации и выбора рациональных алгоритмов управления машины получают функции телеавтоматического оперативного управления. Оператор при этом наблюдает за работой телеавтоматического комплекса и в случае необходимости корректирует его работу. Все функции, выполняемые различными автоматическими устройствами, принципиально могут быть поручены на пункте управления одной цифровой вычислительной машине. Для этого в нее должны вводиться телеизмеряемые параметры, сообщения телесигнализации и задана программа работы.

До сих пор существует мнение, что все автоматические устройства на диспетчерском пункте и многие устройства на местных объектах можно заменить одной универсальной или специализированной вычислительной машиной, поручив ей все их функции. Утверждается, что цифровая вычислительная машина сможет, кроме того,

решать сложные вычислительные и логические задачи управления, которые не под силу другим автоматическим устройствам.

Посмотрим правильно ли это утверждение. Рассмотрим аналогию между работой вычислительной машины и деятельностью мозга человека. Когда человек впервые садится за руль автомобиля, все функции управления выполняются головным мозгом, который способен решать самые сложные и весьма разнообразные задачи. Ведет человек машину при этом медленно и неуверенно. В дальнейшем в результате обучения и практики значительная часть простейших функций управления начинает выполняться автоматически. Выработанные при этом условные рефлексы, «автоматизмы», позволяют быстро и надежно осуществлять определенные последовательные операции, например, трогание с места, остановка машины, объезд неожиданных препятствий, не загружая этим «думающий» мозг. Аналогичные процессы происходят и при повышении квалификации рабочих самых различных профессий. В результате обучения вырабатываются определенные «автоматизмы» управления с четкими, быстрыми и эффективными действиями рабочего на конвейере, слесаря, токаря и др.

За «думающим» мозгом сохраняются не менее ответственные функции управления, связанные с решением более сложных логических и вычислительных задач. Мозг свободен для творческой деятельности и принятия решений на основании данных, трудно поддающихся формализации и еще не приведших к выработке условных рефлексов. Он руководит и контролирует, полагаясь на «местные автоматы» при решении более частных оперативных задач управления. Многие регуляторы у человека и животных продолжают работать даже во время сна, поддерживая температуру, состав крови, обеспечивая работу сердца и других органов.

Если бы функции управления выполнял только «думающий» мозг, то даже кратковременные заболевания его отдельных частей или соединительных нервных волокон приводили бы к смерти или непоправимым последствиям. Кроме того, человек в состоянии воспринять (переработать) максимальный суммарный поток информации, не превышающий 30—50 *дв. ед.* в секунду. Этот предел ограничивается не пропускной способностью органов, которые могут принимать во много раз боль-

шее количество информации (например, зрение, слух), а пропускной способностью именно головного мозга, имеющего известный предел в скорости переработки информации. Это можно пояснить на таком примере. Если человек спускается на лыжах с горы, то при небольшой скорости он успевает воспринять (переработать) зрительную информацию о необходимых деталях спуска и выбрать лучший путь. С увеличением скорости наступает момент, когда лыжник не успевает переработать необходимую информацию, и спуск становится опасным; у человека в таких случаях часто рефлекторно подкашиваются ноги. Выполняя одни операции управления, мозг не сможет одновременно выполнять многие другие, как это следует из примера с управлением автомашиной.

Аналогично функциям мозга при управлении сравнительно сложными производственными комплексами более простые операции должны выполнять местные автоматы на объектах и на пункте управления. При этом все задачи, которые могут быть решены сравнительно простыми средствами без систем телемеханики, необходимо решать устройствами автоматики на местах. Это повышает надежность работы системы, позволяет исключить одно из наиболее ненадежных звеньев — канал связи в тех случаях, когда можно обойтись без него, и разгружает пункт управления от передачи и переработки излишней информации.

Цифровую вычислительную машину целесообразно устанавливать на пункте управления в тех случаях, когда необходимо систематически выполнять большой объем логических и вычислительных операций, с которыми трудно справиться оператору. Эти операции связаны с анализом работы всех отдельных устройств и производственных процессов на основе обобщенных количественных и качественных показателей. Такие принципы построения обеспечивают более надежное и эффективное управление производственными комплексами.

С укрупнением телеавтоматических систем возникает все больше плодотворных аналогий между техническими и биологическими системами управления, и поэтому методы бионики становятся более актуальными.

Система управления у человека и у высших животных имеет многие миллионы рассредоточенных элементарных чувствительных органов (рецепторов) и многие миллио-

ны элементарных исполнительных органов, соединенных нервными волокнами со спинным и головным мозгом. Сейчас еще не ясен механизм весьма сложной согласованной работы этих элементов и всей системы при выделении существенной информации на фоне помех или из менее существенной информации. Еще не понятен процесс распознавания зрительными и другими органами всевозможных образов со сложными пространственными очертаниями.

Недостаточно исследованы процессы передачи, переработки и хранения информации, а теория передачи информации и теория управления в таких системах еще не разработаны. Тем не менее наблюдается ряд общих закономерностей в биологических системах управления и в системах телемеханики и телеавтоматики со многими рассредоточенными КП. Общее в закономерностях и во многих чертах таких систем возрастает с усложнением систем телемеханики и увеличением количества рассредоточенных КП. При этом в технических системах управления как и в биологии возникают проблемы рационального выделения на фоне помех существенной информации из менее существенной при многих рассредоточенных объектах, сводящиеся к проблемам распознавания образов. Это сближает системы управления в живых организмах со сложными техническими системами управления. Решение таких проблем является одной из важнейших задач.

Мы еще очень мало знаем о системах управления человека и живых организмов. При исследовании таких систем первостепенное значение имеют проблемы анализа. Принципиально отличное положение имеет место с системами управления в технических науках. В настоящее время человеком уже созданы сложные автоматические системы управления и другие искусственные образования. Функции, выполняемые такими системами, становятся все более многообразными, и можно утвердить, что верхняя их граница трудно обозрима. В связи с этим для автоматических систем управления первостепенное значение имеют не только проблемы анализа, но и проблемы синтеза.

К наиболее актуальным задачам телеавтоматики следует отнести исследование принципов построения систем управления с целью достижения максимальной эффективности и надежности управления в различных услови-

ях работы систем. При этом необходимо развить теорию структур таких систем, теорию передачи информации управления, теорию надежности, теорию алгоритмов и операций управления. Перечисленные задачи связаны в основном с развитием теории управления в сложных и крупных комплексах.

При наблюдающейся тенденции усложнения и укрупнения систем управления продолжает возрастать объем технических средств и возникают все новые задачи в области телемеханики. Можно ожидать, что в крупных технических системах управления методы и технические средства передачи и переработки информации управления будут иметь в дальнейшем примерно такое же соотношение с остальной двигательной и исполнительной частью, как и в развитых биологических системах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В связи с охватом единой системой управления все более крупного производственного комплекса на протяжении последних десятилетий продолжает возрастать максимальная информационная емкость устройств телемеханики. Системы развиваются от простейших устройств телеуправления — телесигнализации или телеизмерения, разработанных независимо одно от другого, к комплексным и телеавтоматическим системам, включающим в себя не только устройства для передачи, но и технические средства для выделения, сбора предварительной обработки, распределения информации и представления ее в виде, удобном для восприятия человеком и ввода в управляющие машины. За последние 3,5 десятилетия максимальная емкость системы телемеханики увеличилась примерно от нескольких десятков сигналов до многих тысяч сигналов ТУ, ТС, ТИ и продолжает возрастать (см. рис. 46).

С увеличением производственного комплекса, охватываемого системой телемеханики, возникает необходимость в увеличении объема и передачи все новых видов информации для лучшей оптимизации производственного комплекса (производственно-статистической и др.) Еще больше возрастает объем передаваемой информации, ТУ, ТС, ТИ и производственно-статистической с применением цифровых вычислительных машин для оптимизации управления.

Рассматриваемые системы телемеханики передают весьма разнообразную информацию ТУ, ТС, ТИ, ТР, аварийную, предупредительную, запросы передачи, запросы повторения, различные квитанции, производственно-статистическую информацию и т. п. При этом для рассредоточенных КП лучшие решения дают многоступенчатые кодовые передачи. Как одно из следствий многоступенчатых передач и возможности запроса повторения, является целесообразность применения многоступенчатых кодов с обнаружением ошибок и запросом повторения передачи при возникновении ошибок. Такие коды должны обеспечивать достаточно малую вероятность трансформации и ложного сигнала.

В части технических средств при переходе к крупным системам телемеханики предъявляются резко повышенные требования к надежности и обязательная унификация и типизация модулей, блоков и отдельных устройств.

Рациональное построение крупных систем телемеханики возможно только с переходом на высоконадежные унифицированные транзисторные модули логических схем с печатным монтажом при унификации, типизации и стандартизации блоков и устройств.

С увеличением информационной емкости возрастает необходимость автоматизации всех процессов сбора, предварительной обработки, передачи и ввода информации в цифровые вычислительные или управляющие машины. Требуется все более тонкая оптимизация структуры и надежности системы, методов сбора передачи и обработки информации не только потому, что в крупной системе одни и те же относительные потери вызывают большие абсолютные потери.

В крупной системе управления представляется возможность маневрирования производственными, финансовыми и другими ресурсами, возможность оптимального планирования, ремонта, реконструкции, разработки мероприятий по совершенствованию и т. п.

Объем необходимой информации при этом растет примерно пропорционально квадрату числа контролируемых и управляемых объектов. Поэтому с увеличением емкости системы целесообразно переходить к другим более эффективным структурам, методам сбора, передачи и обработки информации.

В широком плане развития происходит процесс перерастания систем телемеханики в большие телеинформационные системы для научной, оперативно-производственной, планово-экономической и других видов информации.

В течение ближайших пятилеток создана сложная разветвленная иерархическая сеть больших телеинформационных систем для трубопроводов, метеорологии, продажи билетов на самолеты и поезда, для бронирования мест в гостиницах, для управления движением самолетов и автомобилей, для различных справок, для научного планирования в торговле, промышленности, для научной карротажно-геофизической, океанофизической и другой информации.

Большие системы отличаются не только большим объемом информации, но, что не менее важно, качественными ее изменениями: большим разнообразием информации и ее дифференцированием по ступеням управления, по срочности передачи, по ценности информации, по форме ее передачи и хранения и т. д.

На каждой ступени управления используются преимущественно определенные виды информации. Оперативная технологическая информация ТУ, ТС, ТИ используется главным образом на нижних ступенях, на которых происходит более частое непосредственное вмешательство в работу машин и установок.

На верхних ступенях управления во многих случаях используется информация, предварительно подготовленная в результате интегрирования, статистической и другой обработки с целью удовлетворения обобщенным критериям. Распоряжения подчиненным пунктам здесь даются главным образом на основе обобщенных показателей и более редко. При этом объем информации на верхних ступенях значительно возрастает.

В иерархических системах появляются новые устройства для согласования работы устройства на различных ступенях управления, в том числе для перехода с различных «языков», часто используемых на разных ступенях управления.

С переходом к большим системам значительно расширяется проблематика телеинформационных систем и возрастают требования к рациональной структуре, надежности, живучести, гибкости, помехоустойчивости, эффективности сбора, передачи и переработки информации,

а также к выбору эффективных унифицированных технических средств.

Рациональные решения должны быть комплексными с приближением к оптимальным параметрам по многим упомянутым показателям функционирования телеинформационных систем.

Применение ЦВМ и средств телеавтоматики резко повышает требования к надежности передачи сигналов ТС и ТИ при таких же высоких требованиях к надежности передачи команд ТУ. Раньше во время передачи сигналов ТС и ТИ оператор мог сам исправлять ошибки. При переходе к машине в сложных ситуациях необходимы весьма сложные, трудно реализуемые алгоритмы.

Система телемеханики или телеинформационная система большой емкости по сложности и количеству деталей соизмерима с ЦВМ, но работает в более тяжелых климатических условиях и без дежурного персонала на контролируемых пунктах. Это отрицательно влияет на ее надежность и затрудняет надежную передачу сигналов.

Переход на бесконтактные радиоэлектронные элементы вначале сопровождался переходом от спорадических к циклическим передачам распределительным кодом. С возрастанием информационной емкости и требований к надежности появилась тенденция к более широкому применению спорадических адресных передач цифровыми двоичными кодами. Такие системы отличаются большей гибкостью и имеют развитую логическую часть, выполняющую сравнительно сложные последовательности операций. Это увеличивает автоматичность их действия и позволяет расширить комплекс выполняемых ими функций.

При работе с протяженными каналами связи возникают не только одиночные, но и групповые ошибки (помехи), что приводит к целесообразности применения методов передачи с адаптацией к условиям прохождения сигналов по каналу связи. Одним из таких рациональных методов является применение кодов с обнаружением ошибок, а в случае повышенных требований — с заданным повторением передач и поэлементной проверкой.

В настоящее время происходит формирование важнейших направлений в области исследования крупных систем телемеханики и телеинформационных систем и предстоит развертывание этих работ, имеющих весьма важное значение для развития науки и техники.

ЛИТЕРАТУРА

1. Билик Р. В., Жожикашвили В. А., Митюшкин К. Г., Прангишвили И. В., Бесконтактные элементы и системы телемеханики, изд-во «Наука», 1964.
2. Бурцев В. К., Свечарник Д. В., О надежности и эффективности систем автоматического контроля и регулирования, «Приборостроение», 1963, № 6.
3. Васильев Р. Р., Шастова Г. А., Передача телемеханической информации, Госэнергоиздат, 1960.
4. Васильев Р. Р., Шастова Г. А., Статистическое кодирование в телемеханике, «Автоматика и телемеханика», 1962, № 1.
5. Венчковский Л. Б., Каширин В. А., Чугин Ю. И., Способы кодирования информации управления для магистральных нефтепроводов, сб. «Автоматизация производственных процессов», изд-во «Недра», 1965.
6. Владимирский А. И., Гефтлер Л. М., Каплан А. Л., Чудновская М. И., Централизованный контроль и управление магистральными нефтепродуктопроводами за рубежом, ЦНИИТЭнефтегаз, 1964.
7. Гаврилов М. А., Теория релейно-контактных схем, Изд-во АН СССР, 1950.
8. Гиллехаал П. Р., Робинзон Д. Е., Способ оптимизации соотношения между надежностью и стоимостью, сб. «Проблемы надежности радиоэлектронной аппаратуры», Оборонгиз, 1960.
9. Гуд Г. Х., Макол Р. Э., Системотехника, «Советское радио», 1962.
10. Жожикашвили В. А., Дешифраторы устройств телеуправления на магнитных элементах с прямоугольной петлей гистерезиса, «Автоматика и телемеханика», 1955, № 1.
11. Ильин В. А., Основные научные проблемы телемеханики, «Автоматика и телемеханика», 1955, № 4.
12. Ильин В. А., Системы телемеханики для рассредоточенных объектов, Госэнергоиздат, 1960.
13. Ильин В. А., Телеконтроль и телеуправление рассредоточенными объектами, Госэнергоиздат, 1963.
14. Ильин В. А., Левин А. А., Системы промышленной телемеханики, справ. т. I, ГОСИНТИ, 1964.
15. Ильин В. А., Импульсные устройства с мостовыми элементами, изд-во «Энергия», 1965.
16. Ильин В. А., Телемеханика и ее применение в народном хозяйстве, изд-во «Наука», 1965.
17. Ильин В. А., Большие системы телемеханики с многоступенчатым управлением, «Вестник Академии наук», 1965, № 5.
18. Коекин А. И., Оптимизация надежности и структуры иерар-

хических систем управления, «Автоматика и телемеханика», 1965, № 10, 11.
19. Купершмидт Я. А., Малов В. С., Пшеничников А. М., Современные телеизмерительные системы, Госэнергоиздат, 1961.
20. Овласюк В. Я., Сухопрудский Н. Д., Трифонов И. И., Система телеуправления ЭСТ-62. сб. «Бесконтактные элементы в системах автоматики и телеуправления устройств электроснабжения», труды ВНИИ ж. д., вып. 261, Трансжелдориздат, 1963.
21. Пивоваров А. В., Овласюк В. Я., Сухопрудский Н. Д., Централизация энергодиспетчерского управления на электрифицированных железных дорогах. Труды секции телемеханики на Всесоюзной научной сессии, посвященной Дню радио, 1966.
22. Теория кодирования, изд-во «Мир», 1964.
23. Толчан С. П., Об одном способе оптимизации структуры сети, сб., «Проблемы передачи информации», 1964, изд-во «Связь», вып. 15.
24. Ушаков И. А., Оценки эффективности сложных систем, сб. «Надежность радиоэлектронной аппаратуры, изд-во «Советское радио», 1960.
25. Фельдбаум А. А. и др., Теоретические основы связи и управления, Физматгиз, 1963.
26. Финк Л. М., Теория передачи дискретных сообщений, изд-во «Советское радио», 1963.
27. Хазацкий В. Е., Оценка надежности передачи информации при различных методах кодирования в системах телеуправления — телесигнализации, ОНТИ ПСА и СУ, 1965.
28. Харкевич А. А., Борьба с помехами, изд-во «Наука», 1965.
29. Шастова Г. А., Критерий средних потерь для оценки надежности систем управления, «Автоматика и телемеханика», 1962, № 6.
30 Шастова Г. А., Помазан В. М., Коды, помехоустойчивые по минимаксному критерию, Труды секции Телемеханики на Всесоюзной сессии, посвященной Дню радио, 1966.

ОГЛАВЛЕНИЕ

БИБЛИОТЕКА ПО АВТОМАТИКЕ

ГОТОВЯТСЯ К ПЕЧАТИ

Абакумов В. Г. и *Петренко А. И.*, Устройства на видиконе для ввода графиков в электронные вычислительные машины.

Андреев Г. И. и *Найдис В. А.*, Системы постоянного тока с кремниевыми выпрямителями (Электроприводы с полупроводниковым управлением).

Аранчий Г. А., Жемеров Г. Г., Эпштейн И. И., Тиристорные преобразователи частоты для регулируемых электроприводов.

Бамдас А. М. и др., Ферромагнитные делители частоты.

Бессонов А. А. и *Сиваков В. А.*, Автоматические индикаторы отказов.

Бруаз П., Язык АЛГОЛ и его применение к задачам исследования операций (перевод с французского).

Бруфман С. С., Цифровые элементы сравнения.

Видинеев Ю. Д., Автоматическое непрерывное дозирование жидкостей.

Гинзбург С. А., Математическая непрерывная логика и изображение функций.

Гринберг Л. С., Многообмоточные потенциометры.

Давидов П. Д., Аналитический расчет импульсных тепловых режимов полупроводниковых приборов.

Долкарт В. М. и др., Метод монтажа навивкой.

Дубровский А. Х., Кочетова Л. И., Бесконтактные логические элементы серии ЭЛМ.

Исмаилов Ш. Ю., Автоматические приборы с шаговыми двигателями.

Коган В. Г., Кочубиевский Ф. Д., Шугрин В. М., Нелинейные системы с тиристорами.

Карибский В. В., Пархоменко П. П. и *Согомонян Е. С.*, Техническая диагностика объектов контроля.

Карпов В. И., Полупроводниковые устройства стабилизации напряжения и тока.

Касаткин А. С. и *Кузьмин И. В.*, Оценка эффективности автоматических систем контроля.

Клюев А. С., Двухпозиционные автоматические регуляторы и их настройка.

Комолов В. П. и др., Параметроны в цифровых устройствах.

Кондюкова Е. Н. и *Редькин Б. Е.*, Аналого-цифровые преобразователи систем автоматического контроля.

Куликовский К. Л., Электрометрические преобразователи напряжения.

Цена 39 коп.

Куликовский Л. Ф., Лихтциндер Б. Я. и *Бровкин Л. А.*, Автоматические приборы с бесконтактными компенсирующими преобразователями.

Лебедев М. Д., Состояние и развитие автоматических систем контроля.

Лемберг М. Д., Релейные системы пневмоавтоматики.

Маграчев З. В., Вольтметры одиночных импульсов.

Мясникова Е. Н., Объективное распознавание речи.

Нетребенко К. А., Компенсационные схемы амплитудных вольтметров и указателей экстремума.

Пеккер П. И. и *Никитенко А. Г.*, Расчет электромагнитных элементов на вычислительных машинах.

Прохоров Н. Д., Счетные схемы на магнитных логических элементах.

Пышкало В. Д., Акимов Л. В. и *Шамрай В. П.*, Оптимальные по быстродействию промышленные электроприводы.

Рубцов В. П., Садовский Л. А. и *Филатов А. С.*, Системы с силовыми шаговыми двигателями в металлургической промышленности (Электроприводы с полупроводниковым управлением).

Самсоненко С. В., Диодные элементы и узлы связи электронных цифровых машин.

Сафрошкин Ю. В., Переходные характеристики и устойчивость транзисторных стабилизаторов напряжения и тока.

Срибнер Л. А., Бесконтактные путевые переключатели повышенной точности.

Стаховский Р. И., Метод изохрон в решении задач оптимального управления.

Страхов В. П., Методы фазовой плоскости в теории цифровых следящих систем.

Удерман Э. Г., Применение метода корневого годографа к приближенному исследованию автоколебаний нелинейных систем.

Чеголин П. А. и *Афанасьев Г. К.*, Автоматизация анализа экспериментальных графиков.

Шевченко Г. И., Магнитоанизотропные датчики.

Шубенко В. А. и др., Асинхронный электропривод с тиристорным управлением (Электропривод с полупроводниковым управлением).

Ямпольский Ж. А. и др., Аналоговые тахометрические преобразователи на магнитных элементах.